



Technická univerzita v Liberci
Fakulta textilní



**VLIV RYCHLOSTI DEFORMACE NA PEVNOST A TAŽNOST
TKANIN**

**THE EFFECT OF THE STRAIN RATE ON FABRICS TENSILE
STRENGTH AND EXTENSION**

LIBEREC 2008

GABRIELA ÚRADNÍKOVÁ

Prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č.121/2000 Sb. o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Beru na vědomí, že si svou diplomovou práci mohu vyzvednout v univerzitní knihovně TUL po uplynutí pěti let po obhajobě.

V Liberci, 10.května 2008

Poděkování:

Ráda bych na tomto místě poděkovala pracovníkům KTT, zejména pak vedoucí mé diplomové práce, paní Ing. Ivě Mertové, za mnoho cenných rad a připomínek a především za její vstřícný přístup.

Anotace:

V této diplomové práci jsou v rešeršní části nejprve popsány mechanicko – fyzikální vlastnosti vláken, přízí a tkanin. Následně je popsána a rozebrána tahová křivka tkanin a nakonec jsou zde uvedeny faktory ovlivňující pevnost a tažnost tkaniny.

V průběhu experimentu byl sledován vliv rychlosti příčnicku, rychlosti deformace a upínací délky na pevnost, tažnost a modul pružnosti v tahu u vybraných tkanin ve směru osnovy a útku. Vzorky tkanin byly proměřovány na přístroji INSTRON 4411. Výsledky experimentu byly vyhodnoceny, sledován byl také průběh tahových křivek tkanin.

Annotation:

In the recherche part of the thesis the mechanical–physical properties of fibres, yarns and fabrics are described. The fabrics tensile curve is analysed in the next section together with the factors influencing fabrics tensile strength and extension.

During experiment, influence of crossbar speed, strain rate and gauge length on fabrics tensile strength, extension and modulus of elasticity was observed. Fabrics samples were measured on INSTRON 4411 machine. Finally, experiment results were analysed and progress of fabrics tensile curves was also assessed.

Klíčová slova:

Tkanina

Pevnost

Tažnost

Upínací délka

Rychlost příčnicku

Rychlost deformace

Tahová křivka tkanin

Modul pružnosti v tahu

Key words:

woven fabric

tensile strength

extension

gauge length

crossbar speed

strain rate

fabrics tensile curve

modulus of elasticity

OBSAH:

Anotace, Klíčová slova	4
Obsah	5
Seznam použitých zkratk a symbolů	6
Úvod	8
1. REŠERŠNÍ ČÁST	9
1.1 Mechanické vlastnosti vláken a přízí a tkanin	9
1.1.1 Deformace	10
1.1.2 Ultimatívní charakteristiky	12
1.2 Pracovní křivka tahové zkoušky	14
1.3 Rozbor pracovní křivky tahové zkoušky	15
1.4 Další faktory ovlivňující pevnost a tažnost tkaniny	18
1.4.1 Základní geometrické veličiny popisující příze	18
1.4.2 Základní parametry tkanin ovlivňující jejich mechanické vlastnosti	21
1.4.2.1 Vliv vazby na mechanické vlastnosti tkanin	22
1.4.2.2 Vliv dostavy osnovy a útku na mechanické vlastnosti tkanin	22
1.4.2.3 Vliv použitého materiálu	23
1.4.3 Vliv klimatických podmínek na mechanické vlastnosti	24
1.4.4 Vliv podmínek měření	24
2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	25
2.1 Získávání vzorků	27
2.2 INSTON 4411	29
2.3 Výsledky experimentu	30
2.3.1 Vliv podmínek měření na tvar tahové pracovní křivky	30
2.3.2 Výsledky experimentu – grafy + tabulky zdrojových dat	34
2.3.3 Analýza rozptylu	51
2.3.3.1 Vliv rychlosti posuvu příčnicku a upínací délky na pevnost, tažnost a automatický Youngův modul pružnosti pro tkaninu s plátňovou vazbou	54
2.3.3.2 Vliv rychlosti posuvu příčnicku a upínací délky na pevnost, tažnost a automatický Youngův modul pružnosti pro tkaninu s plátňovou vazbou	55
2.3.4 Závislost pevnosti, tažnosti a modulu pružnosti tkaniny na upínací délce	57
3. ZÁVĚR	61
Literatura	63

Seznam použitých zkratk a symbolů:

d	[mm]	průměr příze
D	[mm]	tloušťka tkaniny
d_n	[mm]	průměr nitě
F	[mm]	absolutní síla
E	[Pa]	okamžitý modul
E_i	[Pa]	počáteční modul
E_s	[Pa]	sekantový modul
E_t	[Pa]	tangentový modul
h	[mm]	tloušťka nitě ve vazném bodě
l	[mm]	délka vlákna po protažení
l_n	[mm]	délka nitě
l_o	[mm]	upínací délka
l_p	[km]	délka příze
l_v	[km,m]	tržná délka
m_p	[mm]	hmotnost příze
P	[N]	pevnost
p	[N/tex]	relativní pevnost
p_n	[mm]	rozteč mezi nitěmi
R^2	[-]	koefficient determinace
S	[m ²]	průřez
S_0	[mm ²]	výchozí plocha příčného řezu
s	[mm ²]	plocha příčného řezu vlákna
s^*	[mm ²]	plocha příčného řezu vlákna (o tvaru elipsy) v přízi
T	[tex]	jemnost příze
t	[tex]	jemnost vlákna
V	[mm ³]	objem vláken v přízi
V_c	[mm ³]	objem příze

v_{ε}	[1/min]	rychlost deformace
W	[J]	ultimativní přetvárná práce
W_s	[J*kg]	specifická deformační práce
Z	[1/m]	zákrut příze
β_d	[°]	úhel stoupání šroubovice
Δl	[mm]	absolutní deformace
Δl_p	[mm]	protažení do přetrhu
E	[-,%]	relativní deformace
ε_t	[%]	tažnost
θ	[°]	úhel provázání
κ	[-]	intenzita zákrutu
μ	[-]	zaplnění příze
ρ	[-]	korelační koeficient
ρ_v	[kg/m ³]	střední hustota vláken
σ	[Pa]	napětí
σ_p	[Pa]	napětí do přetrhu
τ	[-]	poměrná jemnost

ÚVOD

Tkaniny jsou nedílnou součástí každodenního života. Výroba tkanin má stále určité přednosti proti jiným plošným textiliím, tkaniny mají přiměřenou tuhost (pružnost), kterou je možné v určitém rozmezí měnit. Technika tkaní umožňuje velkou variabilnost v hustotě, vazbě i barvách obou soustav nití.

Tkaniny se vyrábějí z různých materiálů (bavlna, vlna, hedvábí, směsové bavlnářské i směsové vlnářské, ...) a pro různé účely použití (tkaniny oblekové, prádlové (ubrusy, povlaky, kapesníky, ...), bytové (koberce, záclony, ...), technické (obalové tkaniny, filtry, speciální technické tkaniny (hadice, letecká plátna)), a další.

Aby byla tkanina používána pro správné účely, je potřeba znát nároky kladené na tkaninu při daném použití, ale také chování této tkaniny při daném zatížení. Proto je potřeba vyrobené tkaniny testovat, zkoumat jejich vlastnosti, aby bylo možné určit, zda je daná tkanina vhodná k danému účelu použití. U plošných textilií obecně mohou být sledovány tyto vlastnosti:

- vlastnosti tvaru (tloušťka, plošná měrná hmotnost, ...)
- stálosti tvaru (srážlivost, tuhost v ohybu,...)
- vlastnosti povrchu (lesk, otěr, žmolkovitost, ...)
- propustnost (vzduchu, vodní páry, tepla, vody)
- mechanické vlastnosti (pevnost v tahu a tažnost, pevnost při protržení)

Právě mechanicko-fyzikální vlastnosti tkanin jsou rozebírány v této diplomové práci společně s poznatky týkajícími se tahových křivek tkanin (přízí). Pomocí tahové zkoušky tkanin, analýzou jejích výsledků, získáváme základní charakteristiky tkanin, jako je pevnost, tažnost, modul pružnosti v tahu.

V experimentální části této práce je sledován vliv rychlosti příčnicku a upínací délky na průběh tahových křivek tkanin a na pevnost, tažnost a modul pružnosti v tahu u vybraných tkanin ve směru osnovy a útku.

1. REŠERŠNÍ ČÁST

V této části budou nejprve uvedeny základní pojmy týkající se tkanin, dále zde bude věnována pozornost mechanickým vlastnostem přízí, nití a tkanin a rozboru jejich tahové křivky.

Tkanina je plošná textilie tvořená zpravidla ze dvou vzájemně kolmých soustav nití, osnovy a útku, navzájem provázaných vazbou tkaniny. Soustava nití ležících ve směru délky tkaniny se nazývá osnova, skládá se z většího počtu nití (stovky až tisíce) rovnoběžných s okraji tkaniny. Nit kolmá k osnově se nazývá útek a je ukládán rovnoběžně s předchozím útkem. Jako vazba tkaniny je označován způsob vzájemného provázání (překřížení) osnovních a útkových nití. Posledním pojmem, nutným k popisu tkaniny, je dostava tkaniny – parametr, který udává hustotu (počet) dané soustavy nití na 100 mm, v praxi běžně na 1 cm [1].

Tkanina je tedy tvořena z délkových textilií – nití a ty jsou tvořeny vlákny. Do konečných vlastností tkaniny se tak zobrazují vlastnosti samotných vláken, struktura nitě a také konstrukce plošné textilie – vazba.

1.1 Mechanické vlastnosti vláken a přízí a tkanin

Mechanické vlastnosti materiálů (všeobecně) jsou jejich odezvou na mechanické působení vnějších sil. Tato definice je shodná s mechanickými vlastnostmi vláken, přízí, nití a tkanin [2].

Mechanické vlastnosti popisují schopnost těles změnit tvar a případně i objem (tj. deformovat se) v důsledku působení vnějších mechanických sil. Vnější síla vyvolává v tělese **napětí** σ , což vede ke vzniku odpovídající **deformace** ε . Matematicky lze, pokud je rozložení působící síly F v ploše namáhaného průřezu S rovnoměrné, napětí vyjádřit vztahem:

$$\sigma = \frac{F}{S}, \quad (1.1)$$

kde σ [Pa] je napětí, F [N] je působící síla a S [m²] je plocha, na kterou síla působí [4].

Pod pojmem napětí σ [Pa] tedy rozumíme sílu F [N] přepočítanou na plochu průřezu vzorku S [m²]. Protože plocha průřezu nitě je obtížně stanovitelná, přepočítává se absolutní síla F [N] na jemnost vzorku T [tex] [2].

1.1.1. Deformace

Při natahování vzorku nitě (respektive tkaniny) dochází k jeho prodloužení, čili deformování. Absolutní deformaci vyjadřujeme v absolutních jednotkách jako Δl [mm]. Má-li být srovnávána deformace různých materiálů, je nutno ji přepočítat na relativní jednotky, nejčastěji [%]. Nebudeme-li deformaci vyjadřovat v [%], bude vyjádřena jako bezrozměrné číslo [-]. Pro přepočet deformace používáme následující vztahy:

Absolutní deformace Δl [mm]

$$\Delta l = l - l_0, \quad (1.2)$$

kde l je konečná délka po natažení [mm] a l_0 je počáteční (původní) délka vzorku [mm], zvaná upínací délka.

Relativní deformace ε [-]

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}, \quad (1.3)$$

popřípadě:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} * 10^2, \quad (1.4)$$

kde ε [%] je relativní deformace vyjádřená v %. Relativní deformaci do přetrhu nazýváme tažnost.

Deformaci popisujeme jako vratnou – elastickou a nevratnou – plastickou. Elastické deformace lze očekávat pouze v oblasti malých sil a deformací, kde průběh $F = f(\Delta l)$ je lineární. Deformace je závislá na velikosti zatížení, rychlosti namáhání a době trvání [5].

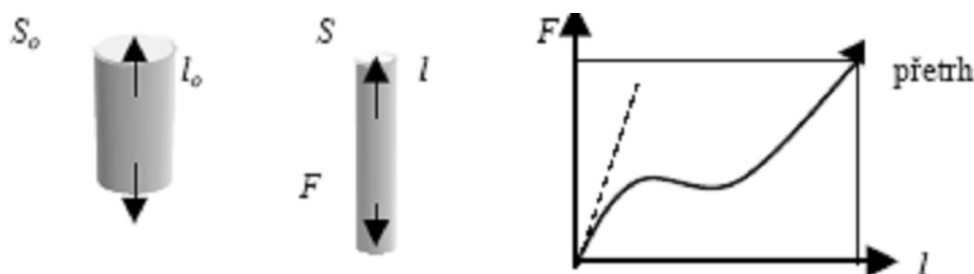
Odpor materiálu proti deformaci charakterizuje **modul**, obecně definovaný jako poměr aplikovaného napětí a vzniklé deformace. V různých typech mechanických zkoušek lze

stanovit různé moduly, např. modul v tahu, modul ve smyku, modul všestranného stlačení. Čím je modul látky vyšší, tím vyššího napětí je třeba k dosažení dané deformace.

Inverzní veličinou k modulu je **poddajnost** charakterizující schopnost materiálu deformovat se za daných podmínek. Je definována jako poměr vzniklé deformace a aplikovaného napětí. Čím větší má látka poddajnost, tím více se při stejně velkém napětí deformuje.

Pevnost materiálu je definována jako největší (mezí) konvenční napětí, které způsobí rozdělení materiálu na dvě části [4].

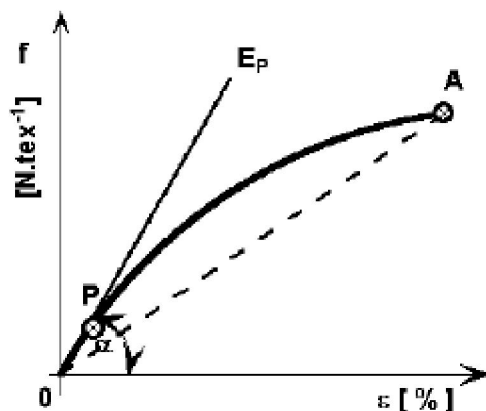
Základním režimem namáhání je jednoosá deformace v tahu. V tomto režimu se sleduje vztah mezi silou a protažením útvaru. Působí-li na vlákno (respektive vzorek) postupně rostoucí síla, dochází k růstu prodloužení až do bodu přetrhu. Charakteristickými hodnotami pracovního diagramu je počáteční modul E (derivace v počátku) a souřadnice bodu přetrhu označované jako pevnost a tažnost (viz obr.1,2). Tato závislost, vyjádřená graficky, se nazývá pracovní křivka.



Obr.1:Pracovní křivka vláken [5]

Vlákno původní délky l_0 a plochy příčného řezu S_0 zde bylo působením síly F prodlouženo na délku l a zúženo na plochu příčného řezu S .

Při namáhání v tahu nazýváme odezvu materiálu **pevností v tahu**. Tuto vlastnost zkoušíme na **dynamometru** – přístroji pro definované namáhání vzorků a registraci síly a deformace (natažení). U většiny těchto přístrojů je rychlost zatěžování taková, aby k přetrhu došlo za stanovenou dobu. Užívá se také dynamometrů, které mají konstantní přírůstek napětí nebo konstantní zrychlení. Údaje z těchto typů dynamometrů se dají obvykle snáze matematicky zhodnotit.



Obr.2: Tahová křivka [2]

1.1.2 Ultimativní charakteristiky

Při zkoušení mechanických vlastností jde většinou o zjištění **meze pevnosti** [6]. Nit (respektive tkanina) je v těchto zkouškách zatěžována až do **destrukce – přetrhu vzorku**. Výsledkem je ukazatel :

- **Pevnosti** P [N], respektive **ultimativní síly** – síly potřebné k přetržení vzorku
- **Protažení do přetrhu** Δl [mm,%], respektive **ultimativní deformace** – protažení odpovídající síle v okamžiku přetrhu
- **Relativní pevnosti** p [N/tex], respektive **ultimativního napětí** – tj. síly potřebné k přetržení vzorku přepočtené na plochu průřezu nitě. Plocha je v tomto případě obtížně stanovitelná, a proto se ultimativní síla přepočítává na délkovou hmotnost – jemnost [tex].
- **Ultimativní přetvárné práce** W [J]– mezní práce do přetrhu, deformační práce, tedy energie, kterou je třeba vynaložit, aby síla v závislosti na deformaci (protažení), způsobila destrukci vzorku (aby došlo k přetrhu).
- **Grafické znázornění průběhu závislosti síly** F [N] na deformaci ε [mm], tj. funkce $F = f(\Delta l)$

Mezi ultimativní charakteristiky dále patří :

- **Napětí do přetrhu** σ_p [Pa]
- **Tržná délka** l_v [km], respektive [m], délka, při níž by se textilie zavěšená na jednu konci přetrhla vlastní tíhou [5].

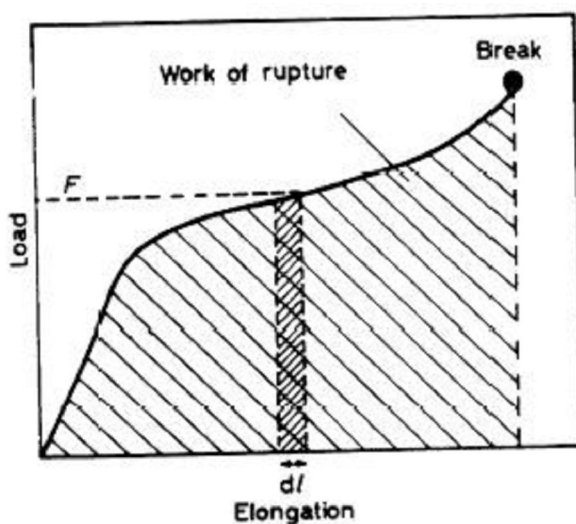
- **Deformační práce** W je důležitou charakteristikou ultimativního chování vláken. Je vyjádřena integrálem pod pracovní křivkou.

$$W = \int_0^{\text{přetrh}} F dl \quad (1.5)$$

Vedle toho se definuje specifická deformační práce W_s , kterou vypočteme ze vztahu:

$$W_s = \frac{\text{práce do přetrhu}}{(\text{hmotnost /jednotková délka}) \times \text{upínací délka}}, \quad (1.6)$$

která se vyjadřuje v [J/kg] nebo v [N.m/kg] nebo v [kJ/g], případně v [N/tex]. Výpočet deformační práce je patrný z obrázku 3[5].

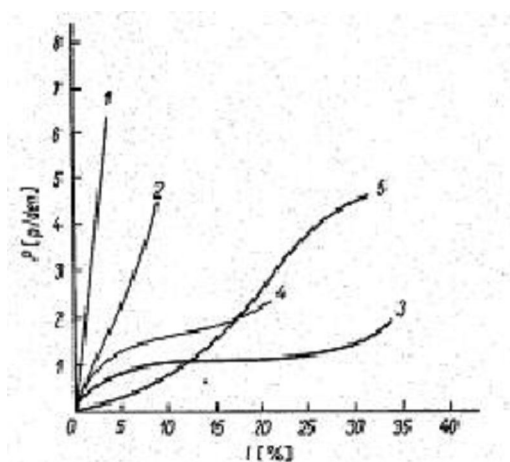


Obr.3: Výpočet deformační práce z pracovní křivky [5]

Vysvětlivky k obrázku: Break – přetrh, Load – zatížení, Elongation – protažení, Work of rupture – práce do přetrhu

1.2 Pracovní křivka tahové zkoušky

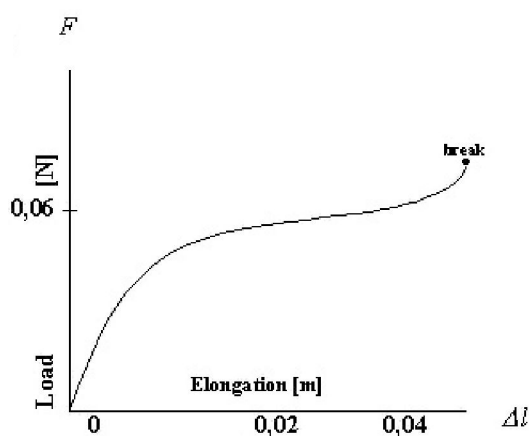
Ultimativní charakteristiky (pevnost a tažnost) nejsou dostatečnou charakteristikou vlákna (respektive tkaniny), a proto většina přístrojů umožňuje sledovat průběh celé deformační křivky, tedy závislost napětí na protažení až do přetrhu vzorku. Této křivce říkáme, jak již bylo zmíněno výše, pracovní křivka vlákna, (respektive tkaniny). Z diagramu si lze učinit lepší představu o vlastnostech vlákna. Na obrázku 4 jsou pracovní křivky různých typů vláken.



Obr.4: Pracovní křivky některých vláken [5]

(1-len, 2-bavlna, 3-vlna, 4-viskózové hedvábí, 5-polyamid 66)

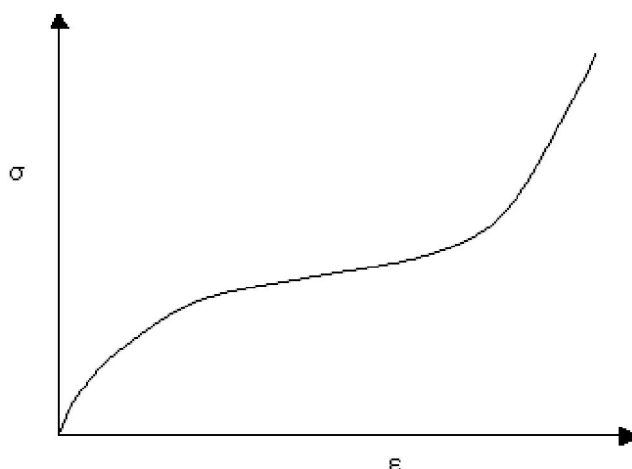
Na obr.5 je vyobrazena tahová křivka přízí.



Obr.5: Tahová křivka přízí [18]

Vysvětlivky k obrázku: elongation – protažení, load – zatížení, break – přetrh

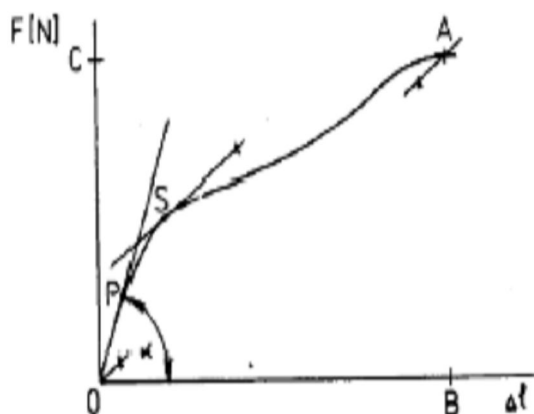
Na obr.6 je znázorněna tahová křivka tkanin.



Obr.č.6: Tahová křivka tkanin [18]

1.3. Rozbor pracovní křivky tahové zkoušky

Při zkoušení mechanických vlastností jde, jak již bylo zmíněno výše, většinou o zjištění meze pevnosti. Vlákno je v těchto zkouškách zatěžováno až do destrukce – přetrhu vzorku. Výsledkem jsou ukazatele ultimativních pevnostních charakteristik. Charakteristické body deformační křivky jsou uvedeny na obrázku 7.



Obr.7: Charakteristické body pracovní křivky

Z křivky jsou patrné některé charakteristické části: 0: počátek

0-P: oblast pružných (elastických) deformací; deformace se po uvolnění napětí vrátí

P: mez pružnosti; nad tímto bodem se začínají projevovat plastické (nevratné) deformace

S: počátek kluzu

A: maximální síla; B: maximální protažení při přetrhu (destrukci) [5]

Mez pružnosti je fyzikálně definována jako napětí, při kterém ještě nevznikají trvalé (plastické) deformace. Předpokládáme, že deformace vznikající až do meze pružnosti jsou elastické, tj. okamžité, časově nezávislé a vratné. Ve skutečnosti v každé látce vznikají malé plastické deformace už při nejmenších napětích, proto neexistuje ostré rozhraní mezi elastickou a plastickou deformací. Proto není možné mez pružnosti experimentálně stanovit. Je ale definována konvenční mez pružnosti jako napětí, které způsobí trvalou deformaci určité minimální velikosti, např. 0,005 % nebo 0,01 %.

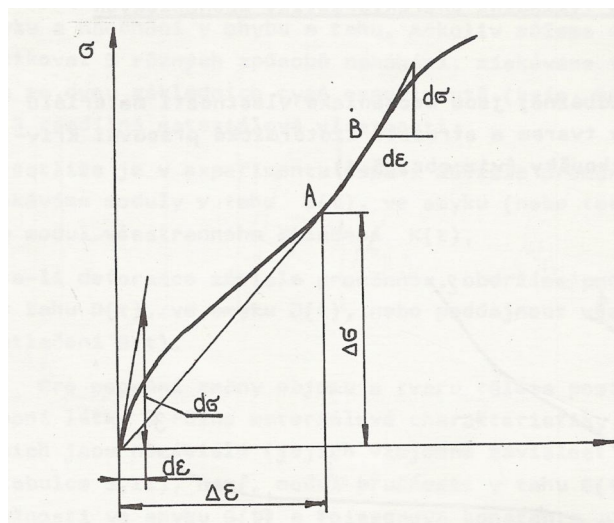
Mez pružnosti je spojená s existencí čistě elastické (hookeovské) deformace v látce, tj. deformace vznikající okamžitě při zatížení, nezávislé na době zatížení a okamžitě a zcela zanikající při odlehčení. U textilních vláken však nebylo nalezeno čistě elastické deformační chování. Popis počátečních stádií deformace Hookeovým zákonem představuje proto hrubou aproximaci skutečného chování vláken a o mezi pružnosti nemá smysl hovořit.

Mez úměrnosti (linearity) je fyzikálně definována jako nejvyšší napětí, při kterém ještě platí zákon úměrnosti mezi napětím a deformací. Jedná-li se o deformace elastické, tj. časově nezávislé, je tímto zákonem Hookův zákon. Pak je mez úměrnosti teoreticky totožná s mezí pružnosti. Deformace, spojená s mezí úměrnosti, je u textilních vláken všeobecně velice nízká, 0,2-0,5 %.

Mez kluzu udává nejmenší hodnotu aplikovaného napětí, od kterého začíná výrazná plastická (tj. nevratná) deformace [4].

Celkově (globálně) jsou mechanické vlastnosti materiálu charakterizovány tvarem a strmostí izotermické pracovní křivky tahové zkoušky. Čím je křivka strmější, tím větší má materiál odpor proti deformaci a naopak, čím větších deformací je do přetrhu dosaženo, tím je materiál poddajnější, houževnatější.

Pro číselnou charakteristiku strmosti pracovní křivky byly zavedeny určité konvenční veličiny, jako například počáteční, tangentový a sekantový modul.



Obr.8: Definice některých konvenčních mechanických vlastností [4]

Počáteční modul E_i je definován strmostí pracovní křivky při nulové deformaci

$$E_i = \left. \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \right|_{\varepsilon = 0}. \quad (1.7)$$

Tangentový modul E_t je definován strmostí pracovní křivky při libovolné nenulové deformaci (viz. obr. ,bod B)

$$E_t(B) = \left. \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \right|_{\varepsilon \neq 0}. \quad (1.8)$$

Sekantový modul E_s je v libovolném bodě definován směrnici přímky, spojující počátek s tímto bodem pracovní křivky (obr. , bod A)

$$E_s(A) = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}. \quad (1.9)$$

V každém bodě pracovní křivky (kromě počátku) lze tedy definovat dva rozdílné moduly – tangentový a sekantový. Tyto veličiny přibližně udávají velikost odporu proti deformaci v určitém bodě nebo úseku pracovní křivky. Sekantový modul a tangentový modul v lineárním úseku křivky jsou totožné s **okamžitým modulem** E , který je pro libovolný bod pracovní křivky dán vztahem:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}, \quad (1.10)$$

přičemž σ a ε jsou souřadnicemi uvažovaného bodu [4].

Z předchozího vztahu lze získat **Hookův zákon pro tah**

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_y}, \quad (1.11)$$

kde E_y je označován jako **modul pružnosti v tahu**, neboli **Youngův modul**. Modul pružnosti zde závisí pouze na vlastnostech materiálu tělesa, ne na jeho rozměrech. Modul pružnosti je závislý na teplotě – s rostoucí teplotou stoupá [7].

Okamžitá poddajnost je definována vztahem:

$$D = \frac{\varepsilon}{\sigma}. \quad (1.12)$$

Takto definované veličiny mají jednoznačný fyzikální význam, a proto jim dáváme přednost před charakteristikami konvenčními [4].

1.4 Další faktory ovlivňující pevnost a tažnost tkaniny

Jak už bylo uvedeno výše, do konečných vlastností tkaniny se zobrazují vlastnosti samotných vláken (respektive přízí), struktura nitě, konstrukce plošné textilie (vazba, dostava osnovy a útku) a v neposlední řadě také klimatické podmínky a podmínky měření.

1.4.1 Základní geometrické veličiny popisující příze

Příze je délková textilie ze spřadatelných vláken zpevněná zakroucením při předení. Mezi základní geometrické veličiny popisující příze patří jemnost příze, průměr příze, zaplnění příze a zákrut příze. Tyto veličiny budou blíže specifikovány níže.

Jemnost příze T je definována jako podíl hmotnosti úseku příze m_p ku jeho délce l_p . Lze ji též vyjádřit jako součin hustoty vláken ρ a součtové plochy všech vlákenných řezů v průřezu příze, která se označuje jako substanční průřez S .

$$T = \frac{m_p}{l_p} = S\rho = \frac{\pi d^2}{4} \rho \quad (1.13)$$

kde T [tex] je jemnost příze, m_p [g] je hmotnost příze, l_p [km] je délka příze, S [mm²] je plocha příčného řezu příze, ρ [kgm⁻³] je střední hustota vláken, d [mm] průměr příze.

Poměrná jemnost příze τ [-] je potom vyjádřena podílem jemnosti příze T [tex] a jemnosti vláken t [tex].

$$\tau = \frac{T}{t}. \quad (1.14)$$

Průměr příze d je základním parametrem příze důležitým pro hodnocení a výpočet odhadu dalších parametrů přízí a tkanin. Může být odhadnut s užitím teoretických rovnic nebo hodnocen na základě experimentálních měření [10]. Je třeba si uvědomit, že příze je kompaktní útvar, který je možné obecně rozdělit na oblast hustě uspořádaného jádra a obal tvořený méně uspořádanými vrstvami vláken tvořícími chlupatost. Míra stěsnání, kterou je možné hodnotit jako zaplnění, klesá s narůstajícím poloměrem. Jasná hranice mezi jádrem a obalem neexistuje, přechod mezi těmito dvěma oblastmi je pozvolný a pro stanovení průměru příze je nutné zavést konvence. Průměr příze je vždy smluvní hodnotou a bývá nahrazen průměrem válce, v němž je soustředěna převážná část vláken [11]. S využitím vztahu (1.13) za předpokladu, že příze je homogenní válec, je možné výpočet průměru příze provést dle vztahu:

$$d = \sqrt{\frac{4T}{\pi\mu\rho}} \quad (1.15)$$

Zákrut příze Z je počet ovinů vztažený na jednotkovou délku příze. Zákrut příze souvisí s jemností příze, průměrem příze a zaplněním. Obecně platí, že jemnější příze mají menší počet vláken v průřezu, menší průměr a jsou předeny většinou s vyšším zákrutem. Se zvyšujícím se zákrutem jsou vlákna více stlačována, zaplnění roste a průměr se zmenšuje.

Exaktní popis struktury příze je z hlediska uspořádání vláken velmi složitý, proto se často používá **šroubovicový model příze**, jenž vychází z následujících předpokladů. Příze tvoří válec o průměru d , osy vláken tvoří soustavu souosých šroubovic na obecných poloměrech r [mm] z intervalu $\langle 0, d/2 \rangle$. Vlákná jsou válcová a jejich průřezem je kruh o průměru d_e a ploše S . Výška stoupání šroubovice je rovna $1/Z$. Mezi úhlem stoupání šroubovice β obecného vlákna a zákrutem Z [m^{-1}] platí vztah:

$$\operatorname{tg} \beta = 2\pi r Z. \quad (1.16)$$

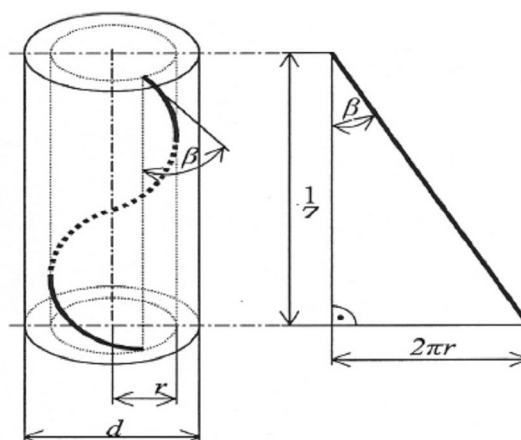
Válcové vlákno s trajektorií šroubovice zanechává v příčném řezu příze (řez vedený kolmo k ose příze) plochu s^* [mm^2] ve tvaru elipsy, pro níž platí vztah:

$$s^* = \frac{s}{\cos \beta} = s \sqrt{1 + (\operatorname{tg} \beta)^2} = s \sqrt{1 + (2\pi r Z)^2}, \quad (1.17)$$

kde s [mm^2] je plocha příčného řezu vlákna.

Součet všech řezných ploch vláken v průřezu příze odpovídá substančnímu průřezu S .

V některých případech se využívá ideální šroubovicový model, kde je v uvedeném přízovém válci konstantní zaplnění.



Obr.9: Šroubovicový model příze [25]

Míra zákrutu příze souvisí s intenzitou zákrutu κ [-], jež je tangentou úhlu β_d stoupání šroubovice povrchového vlákna v přízi, které se nachází na průměru d [mm]. Intenzita zákrutu je dána vztahem:

$$\kappa = \operatorname{tg} \beta_d = \pi d Z. \quad (1.18)$$

Zaplnění μ [-] je podíl objemu vláken ku celkovému objemu elementárního vlákněného útvaru a je tedy definováno v intervalu od 0 do 1. Zaplnění lze úpravou převést na podíl plochy vláken v příčném řezu příze ku celkové ploše příčného řezu.

$$\mu = \frac{S}{S_c} = \frac{V}{V_c} = \frac{Sl}{\frac{\pi d^2}{4} \cdot l} = \frac{4S}{\pi d^2} = \frac{4T}{\pi d^2 \rho} \quad [9], \quad (1.19)$$

kde S [mm²] je plocha příčného řezu vláken, S_c [mm²] je plocha příčného řezu příze, V [mm³] je objem vláken, V_c [mm³] je objem příze, l [mm] je délka úseku příze, d [mm] je průměr příze, ρ [kgm⁻³] je střední hustota vláken,

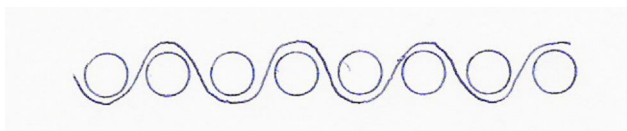
Na základě plošné definice zaplnění lze určit zaplnění různých typů limitních struktur, a tak definovat mezní zaplnění. Zaplnění se po průřezu příze mění, nejvyšších hodnot dosahuje v jádře příze, kde jsou vlákna nejvíce stlačena vnějšími vrstvami zakroucených vláken.

1.4.2 Základní parametry tkanin ovlivňující jejich mechanické vlastnosti

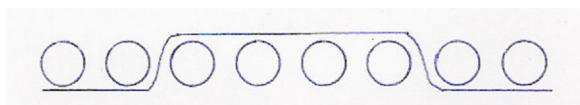
Tkanina je, jak již bylo zmíněno, útvar, vznikající na tkalcovském stavu, který provazuje nitě dvou soustav (osnovy a útku) vazební technikou a vytváří tak soustavu vazebních bodů charakteristickou pro tento typ plošné textilie. V nich dochází ke vzniku třecích sil a ty jsou hlavním nositelem mechanických i tvarových vlastností tkaniny [15].

1.4.2.1 Vliv vazby na mechanické vlastnosti tkanin

Vazba tkaniny se promítá do mechanických vlastností tkanin následujícím způsobem:



Obr.10: Příčný řez tkaninou s plátnovou vazbou



Obr.11: Příčný řez tkaninou s keprovou vazbou

Z výše nakreslených příčných řezů je vidět různě provazující útky s osnovními nitěmi. Mezi těmito soustavami nití dochází ke tření. Velikost tření závisí na vzájemném provázání nití. Tření a tím i pevnost vazby je jiná, jestliže jeden útek prováže s jednou nití osnovní (vznikne jeden útkový nebo jeden osnovní vazný bod), nebo pokud útek flotuje a provazuje až po několika nitech osnovních. V tomto případě se nitě mezi sebou jen vzájemně dotýkají. Pokud útek prováže jen s jednou osnovní nití, pak ji opásá ze 3 jejího obvodu.

Hustota provázání ovlivňuje zejména tažnost tkaniny. Jestliže je tkanina hustě provázaná, jak je tomu v případě plátnové vazby (obr.10), a tkanina je namáhána tahem, dochází uvnitř tkaniny nejprve k vyrovnání zvlnění jednotlivých vazných bodů. Povyrovnaní zvlnění se začínají projevovat mechanické vlastnosti příze. Příze je napínána a při maximálním napětí, ke kterému dojde jejím napětím přibližně do roviny, se už nemůže dále protahovat, dochází k jejímu přetrhu a tím i přetrhu tkaniny.

To znamená, že u plátnové vazby, která je nejhustěji provázaná, potrvá déle, než se zvlnění vazných bodů vyrovná. U keprové vazby se začnou dříve projevovat mechanické vlastnosti příze vlivem odlišného rozmístění vazných bodů [20].

1.4.2.2 Vliv dostavy osnovy a útku na mechanické vlastnosti tkanin

Jak již bylo zmíněno, dostava osnovy (respektive útku) udává počet (hustotu) dané soustavy nití na 100 mm, v praxi běžně na 1 cm [1].

Právě dostava tkaniny má vliv na celou řadu zpracovatelských i užitných vlastností tkaniny, např. na pevnost, tažnost, prodyšnost, mačkavost, splývavost. Z porovnání dvou tkanin se stejnou vazbou, vyrobených ze stejných přízí, ale s různou dostavou vyplývá, že hustá tkanina s velkou dostavou má vyšší pevnost, je tužší, má větší mačkavost [21].

Pevnost tkaniny je dána dostavou tkaniny a pevností příze. Má-li tkanina různou dostavu osnovy a útku, pak je pevnější ve směru soustavy nití s větší dostavou, naopak tažnější ve směru soustavy nití s menší dostavou, ty jsou více zvlněné, proto potřebují delší čas k vyrovnaní zvlnění, než se začnou projevovat mechanické vlastnosti příze.

1.4.2.3 Vliv použitého materiálu

Vlastnosti materiálu použitého pro výrobu tkaniny se promítají také do konečných vlastností tkaniny.

Pro experiment popsáný níže byly použity 2 tkaniny vyrobené ze dvou odlišných materiálů –100% bavlny a 100% polypropylenu. Proto bude dále věnována pozornost právě těmto dvěma materiálům:

Bavlna je nejdůležitější přírodní vlákno. Jsou to vlastně jednobuněčná vlákna obrůstající semena bavlníku.

Složení vláken: 88-96% celulóza, 0,9-1,2% pektiny, 1,1-1,9% bílkoviny, 0,3-1% vosky, 0,5-1% organické kyseliny, 0,7-1,6% minerální soli, 0,3% soli, 0,9% ostatní (vitamíny, pigmenty,...).

Vlastnosti bavlny: pevnost za sucha 2-5 cN/dtex, za mokra 100-120% pevnosti za sucha, tažnost za sucha 6-10%, za mokra 100-110% tažnosti suché. Elastické zotavení při 2 %ním protažení je 74%, elastické zotavení při 5 %ním protažení je 45 %. Navlhavost ve standardních podmínkách je 7,5 %, navlhavost ve vlhké atmosféře je 24-27 %.

Mechanické vlastnosti bavlny jsou citlivé na změnu vlhkosti, ($65\% \pm 2\%$ vede ke změně pevnosti a tažnosti o 4%). Vlhkost působí porušení vodíkových můstků a následně relaxaci napětí (vysoká deformabilita, snadná neformovatelnost). Vlivem teploty nad 120°C po 5 hodinách bavlna žlutne, při 150°C zhnědne, při 200 až 280°C dochází k destrukci. Při prudkém sušení dochází k zrohovatění povrchu vláken.

Polypropylenová vlákna se klasicky vyrábí zvlákňováním z taveniny (citlivé na přítomnost O₂), následuje chlazení v dlouhé šachtě, vzniklé nedloužené vlákno má 70% krystalinity, pak následuje dloužení.

Vlastnosti vláken: vysoký koeficient tření, pevnost 1,5-6 cN/dtex, tažnost 15-60 %, sorpce vody při 65% RH je 0-0,005%, teplota tání 165-170°C [22].

1.4.3 Vliv klimatických podmínek na mechanické vlastnosti

Vlastnosti textilních vláken a textilií se mění podle toho, jaká je jejich vlhkost. Textilní vlákna jsou schopna přijímat z ovzduší, či od lidského těla, vlhkost, popřípadě plyny, chemické výpary apod. Tato skutečnost se označuje pojmem sorpční vlastnosti. Vlivem vlhkosti vlákna bobtnají, mění se jejich hmotnost, která je důležitá při obchodování a pro stanovení jemnosti. Téměř ve všech případech tažnost se stoupající vlhkostí stoupá a pevnost klesá. Výjimku tvoří přírodní celulózová vlákna, která se stoupající vlhkostí zvyšují svoji pevnost. Naproti tomu velmi podstatně snižují svoji pevnost za mokra vlákna z regenerované celulózy.

Standardní klimatické podmínky pro zkoušení vlastností textilií jsou vlhkost vzduchu 65 ± 2 [%], teplota vzduchu 20 ± 2 [°C]. Teplota se měří teploměry, vlhkost vlhkoměry (psychrometry), popř. hygrometry [22].

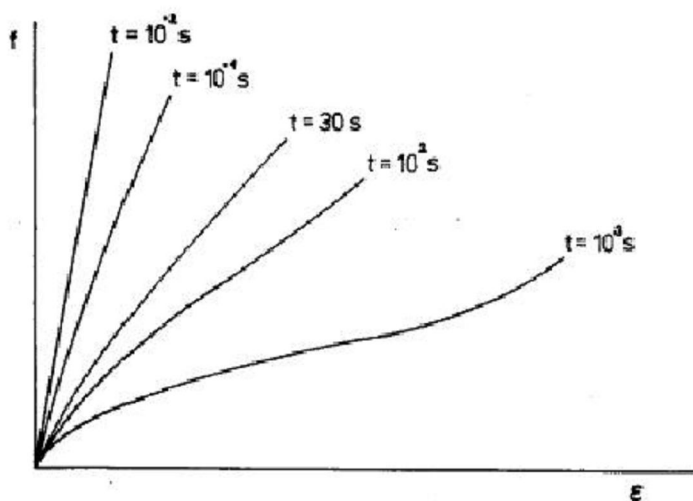
1.4.4 Vliv podmínek měření

Naměřené ultimativní hodnoty vláken, přízí a tkanin jsou závislé i na podmínkách měření.

Především na:

Upínací délce vlákna – pokud si uvědomíme, že k přetrhu dochází v nejslabším místě vlákna, je pravděpodobnost tohoto defektu větší u delšího vlákna, tedy s rostoucí upínací délkou vlákna klesá průměrná pevnost vlákna. Tomuto jevu říkáme tvarový efekt. Upínací délka ovlivňuje i tažnost vlákna, neboť při deformaci nelze zcela zabránit deformaci vlákna uvnitř svorek (tzv. svorkový efekt), čím menší je upínací délka, tím relativně větší je vliv tohoto efektu. Proto je upínací délka normovaná [5]. Z výše uvedených důvodů ovlivňuje upínací délka také pevnost a tažnost přízí (skládajících se z vláken) a tkanin.

Rychlosti deformace – rychlost zatěžování má rovněž vliv na výsledné měření pevnosti v tahu a tažnosti. A to zásadním způsobem. Čím rychleji budeme vzorek deformovat, tím větší je podíl elastické deformace a tedy s rostoucí rychlostí roste pevnost a klesá tažnost, jak je patrné z obrázku č.12.



Obr.12: Závislost pevnosti a tažnosti na rychlosti deformace[5]

Neboli čím rychleji budeme nit (respektive vzorek) zatěžovat, tím méně času bude mít na přeskupení vnitřních sil tvořených např. třením mezi vlákny. S rostoucí rychlostí zatěžování roste úroveň pevnosti a klesá tažnost. Standardní rychlost zatěžování je normována v době trvání zkoušky řádově desítek sekund (ČSN [6] uvádí např. rychlost zatěžování při zkouškách pevnosti nití 100 mm/min).

2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V experimentální části jsou graficky zpracovány výsledky měření hodnocených vlastností (pevnost, tažnost, čas do přetruhu, automatický Youngův modul pružnosti) v závislosti na rychlosti přičnicku, rychlosti deformace a na upínací délce. Cílem je porovnání hodnot sledovaných parametrů proměřovaných vzorků tkanin. K experimentu byly použity 2

tkaniny. Blíže jsou tkaniny specifikovány v tabulkách 1 a 2. Tkaniny byly proměřovány na přístroji INSTRON 4411.

Tabulka č. 1: Tkanina 1 – plátno [14]

TABULKA 1	tkanina	Příze
materiál	100% bavlna	100% bavlna
vazba tkaniny/typ příze	plátno	Skaná
Jemnost T [tex]	2x25	2x25
D _o [1/10cm](experimentální)	196	
D _u [1/10cm](experimentální)	159	
D _o / D _u	1,518797	
Zákrut Z [m ⁻¹]		582 <573;590>

Tabulka č. 2: Tkanina 2 – kepr [14]

TABULKA 2	tkanina	Příze
materiál	100% POP	100% POP
vazba tkaniny/typ příze	kepr 2/4 Z	Jednoduchá
Jemnost T [tex]	29,5	29,5
D _o [1/10cm](experimentální)	250	
D _u [1/10cm](experimentální)	215	
D _o / D _u	1,162791	
Zákrut Z [m ⁻¹]		601 <593;610>

Vzorky tkanin byly během experimentu proměřovány při třech různých rychlostech příčnicku [mm/min] a třech různých upínacích délkách [mm]. Rychlosti příčnicku jsou společně s upínacími délkami a rychlostmi deformace uvedeny v následující tabulce:

Tabulka č. 3: Rychlost deformace [1/min]

upínací délka	100	200	50
rychlost příčnicku			
50	0,5	0,25	1
100	1	0,5	2
250	2,5	1,25	5

Hodnoty rychlosti deformace byly získány výpočtem podle vztahu:

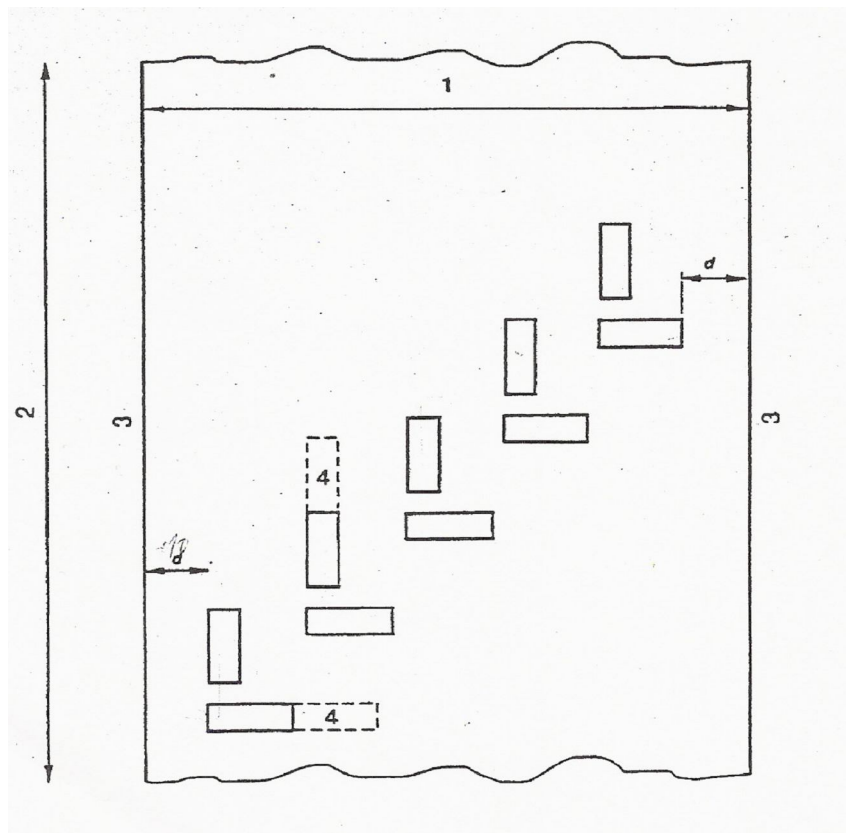
$$v_{\varepsilon} = \frac{v_p}{l_{up}}, \quad (2.1)$$

kde v_{ε} [1/min] je rychlost deformace, v_p [mm/min] je rychlost příčnicku, l_{up} [mm] je upínací délka.

2.1 Získávání vzorků

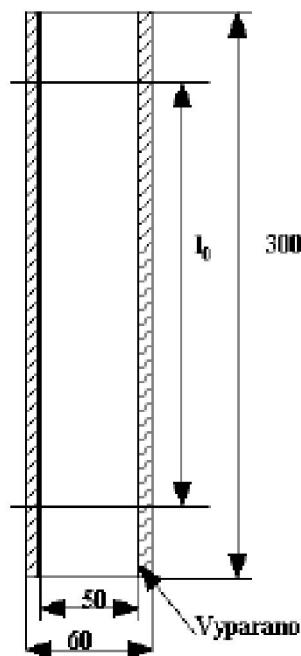
Stejně jako u délkových textilií také u plošných textilií jsou mechanické vlastnosti jejich odezvou na mechanické působení od vnějších sil [2] (viz též kapitola 2.1).

Zkouší se vzorky ve dvou na sobě kolmých směrech – ve směru osnovy a útku. Zkoušky jsou dány normou [3]. Podle normy mají být vzorky vystřiženy z odstříhu plošné textilie tak, aby neměli ani jednu společnou nit. Zkoušení je nutno provádět za přísně klimatizovaných podmínek [15]. Vzorky proto musí být v klimatizované komoře nejméně 24 hodin před vlastním měřením, samo měření pak probíhá v klimatizované místnosti.



Obr.13: Rozmístění zkušebních vzorků odebíraných z laboratorního vzorku. 1-šířka plošné textilie, 2-délka plošné textilie, 3-okraje, 4-dodatečná délka pro zkoušky za mokra, pokud jsou požadovány

Normovaný je rovněž tvar vzorků, jak je znázorněno na obr.14. Vzorek se vystříhne přesně po niti v rozměrech 300 x 60 mm a vzorek je pak vypárán na šíři 50mm. Upínací vzdálenost $l_0 = 200$ mm. V experimentu byly použity vzorky o rozměrech 300 x 60 mm, 200 x 60 mm a 150 x 60 mm.



Obr.14: Tvar vzorků pro zkoušení pevnosti tkanin [3].

2.2 INSTON 4411

Tkaniny byly proměřovány na univerzálním trhacím stroji INSTRON 4411. Tento přístroj je určen k zjišťování mechanických vlastností délkových a plošných textilií. Lze realizovat jednoosé namáhání tahem, tlakem a ohybem [13].

Přístroj je pro zjišťování pevnosti a tažnosti tkanin vybaven čelistmi, do kterých se pro měření vzorek upevní. Vzdálenost čelistí odpovídá požadované upínací délce. Během experimentu je vzorek napínán až do přetrhu. Přístroj zaznamenává, mimo jiné, hodnoty maximálního protažení, pevnosti vzorku, času do přetrhu, automatického Youngova modulu pružnosti, energie do přetrhu, a dalších. Tato data byla pak dále zpracována a vyhodnocována.



Obr.15: INSTRON 4411 [13]

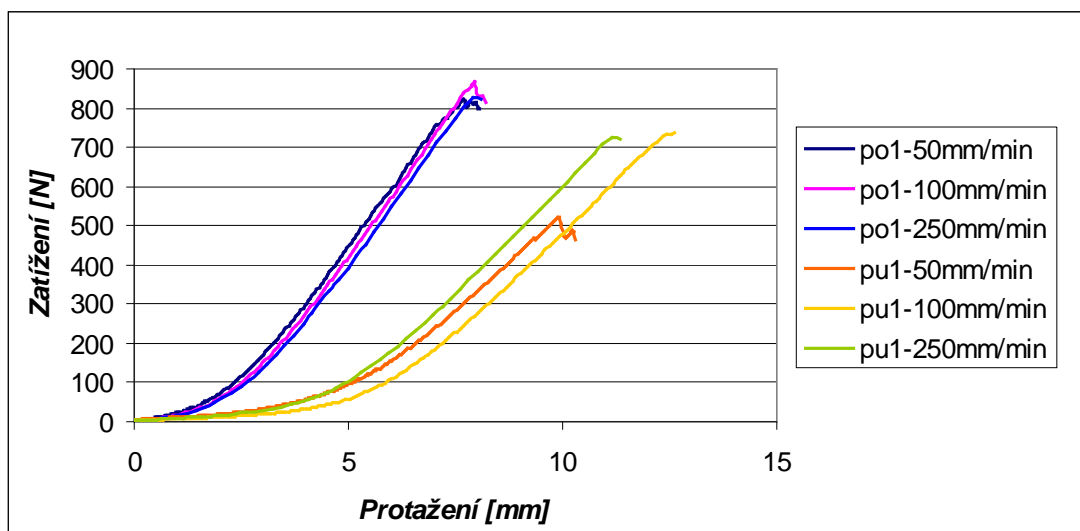
2.3 Výsledky experimentu

K experimentu byly použity 2 tkaniny (viz. kapitola 3). Během experimentu bylo proměřováno vždy 10 vzorků při dané upínací délce a dané rychlosti ve směru osnovy i útku. Pro každou z tkanin byly použity 3 upínací délky – 200 mm, 100 mm, 50 mm a 3 rychlosti příčnicku – 250 mm/min, 100 mm/min, 50 mm/min.

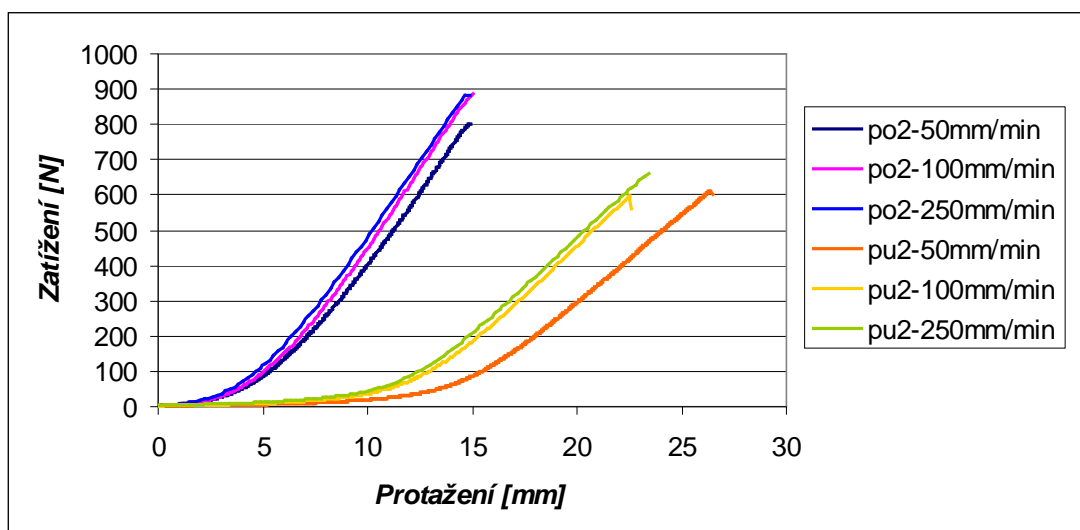
2.3.1 Vliv podmínek měření na tvar tahové pracovní křivky

V této kapitole jsou pro ilustraci uvedeny průběhy tahových křivek přízí při různých podmínkách měření – v jednotlivých grafech se mění rychlost příčnicku a směr působící síly,

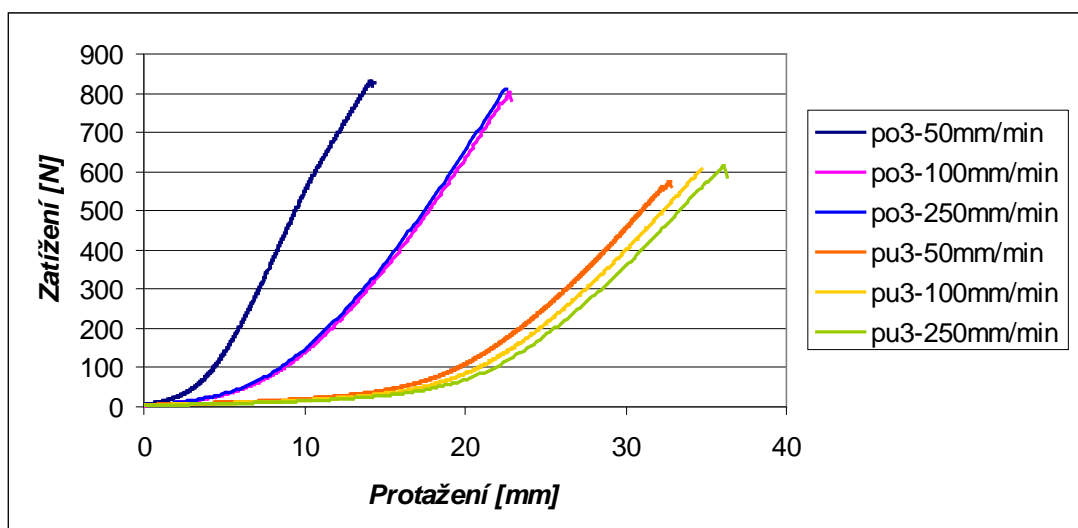
grafy jsou uvedeny pro tkaninu s plátňovou i keprovou vazbou. Byly vybrány křivky vždy prvního měření při dané upínací délce a rychlosti příčnicku.



Graf č.1: Tahové pracovní křivky – plátno – upínací délka 50 mm



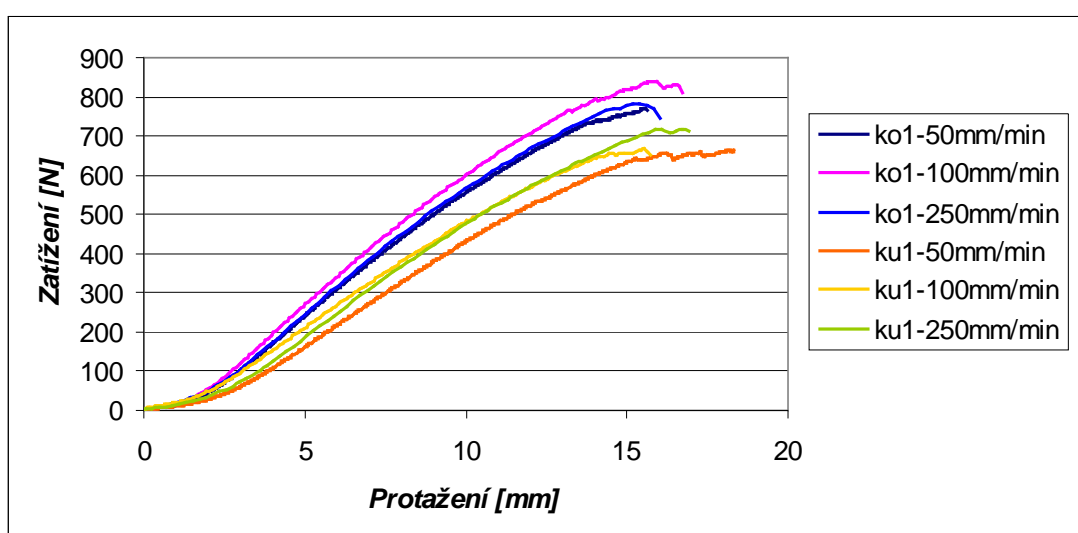
Graf č.2: Tahové pracovní křivky – plátno – upínací délka 100 mm



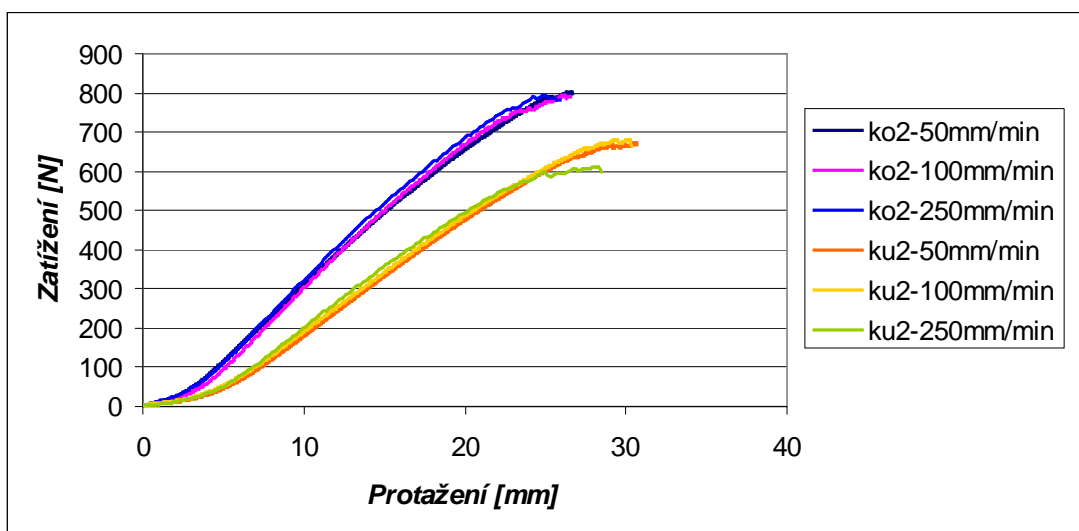
Graf č.3: Tahové pracovní křivky – plátno – upínací délka 200 mm

V grafech č.1-3 jsou uvedeny tahové pracovní křivky pro vzorky tkaniny s plátňovou vazbou, proměřované ve směru osnovy a útku. Z grafů je patrné, že při dané upínací délce s rostoucí rychlostí příčnicku klesá ve většině případů hodnota protažení vzorku. To je způsobeno tím, že s rostoucí rychlostí příčnicku klesá čas potřebný pro přeskupení rozložení sil ve vzorku, dojde dříve k přetrhu.

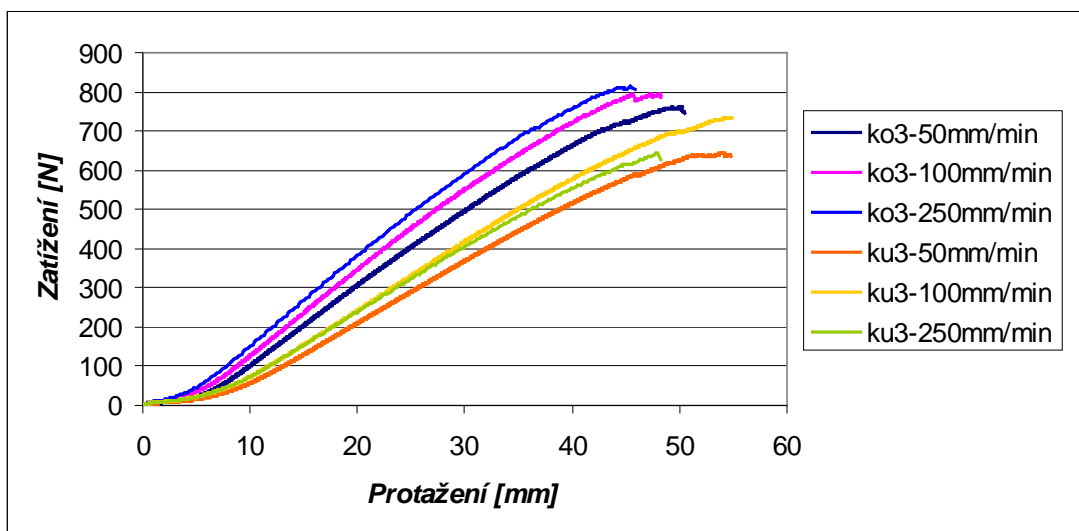
S rostoucí upínací délkou klesá strmost křivky a zvyšuje se hodnota maximálního protažení. Maximální hodnoty zatížení se s rostoucí upínací délkou a rychlostí příčnicku v daném směru významně neliší, ve směru útku jsou vždy nižší než ve směru osnovy.



Graf č.4: Tahové pracovní křivky – kepr - upínací délka 50 mm



Graf č.5: Tahové pracovní křivky – kepr - upínací délka 100 mm



Graf č.6: Tahové pracovní křivky – kepr - upínací délka 200 mm

V grafech č.4-6 jsou uvedeny tahové pracovní křivky pro vzorky tkaniny s keprovou vazbou, proměřované ve směru osnovy i útku. Průběhy těchto tahových pracovních křivek potvrzují fakta uvedená v popisu grafech č.1-3: strmost pracovní tahové křivky se při dané upínací délce zvyšuje s rostoucí rychlostí přičníku. S rostoucí upínací délkou se zvyšuje hodnota maximálního protažení. Ani zde se hodnota maximálního zatížení s měnící se

rychlostí příčnicku a upínací délkou pro daný směr působení síly výrazně nemění. Je zde ale menší rozdíl mezi maximálními hodnotami zatížení ve směru osnovy a útku.

Závěr: Z uvedených grafů je evidentní, že upínací délka vzorků má vliv na strmost tahových pracovních křivek tkanin i na maximální hodnoty zatížení. Naopak měnící se rychlost příčnicku maximální hodnoty zatížení příliš nemění.

2.3.2 Výsledky experimentu – grafy + tabulky zdrojových dat

Níže jsou uvedeny grafy závislosti hodnocených parametrů (pevnosti a tažnosti) na rychlosti deformace, rychlosti příčnicku a upínací délce, společně s tabulkami zdrojových dat. Tato data byla získána statistickým zpracováním naměřených hodnot. V grafech jsou jednotlivé hodnoty vždy doplněny konfidenčními intervaly, jednotlivé řady jsou pak doplněny lineárními spojnicemi trendu a koeficienty determinace R^2 .

Koeficient determinace R^2 je druhou mocninou korelačního koeficientu.

Korelační koeficient ρ vyjadřuje míru závislosti 2 veličin, nabývá hodnot z intervalu $\langle -1;1 \rangle$. Je-li korelační koeficient roven -1 , jedná se o nepřímou závislost mezi veličinami x a y . Naopak je-li hodnota korelačního koeficientu rovna 1 , jedná se o přímou závislost. Je-li hodnota rovna 0 , jedná se o nezávislé hodnoty [17].

Hodnoty **tažnosti** byly získány výpočtem z naměřených hodnot maximálního protažení podle vztahu:

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta l}{l_0} 100, \quad (2.2)$$

kde Δl [mm] je protažení do přetrhu, l_0 [mm] je upínací délka, ε_t [%] je tažnost.

Nejprve budou uvedeny tabulky a grafy týkající se tkaniny s plátňovou vazbou:

Tabulka č. 4: Průměrná tažnost ve směru osnovy – plátno - hodnoty tažnosti jsou uvedeny v %.

Up. délka	50 mm		100 mm		200 mm	
Rychlost př.		konfidence		konfidence		konfidence
50 mm/min	17,4	0,6	15,7	0,5	11,1	0,3
100mm/min	17,2	0,6	15,4	0,2	11,8	0,2
250mm/min	17,4	0,5	15,2	0,3	11,2	0,3

Tabulka č.5: Průměrná tažnost ve směru útku – plátno – hodnoty tažnosti jsou uvedeny v %.

Up. délka	50 mm		100 mm		200 mm	
Rychlost př.		konfidence		konfidence		konfidence
50 mm/min	25,2	0,9	25,2	0,7	16,1	0,7
100mm/min	25,9	0,6	23,7	0,4	17,2	0,8
250mm/min	25,1	0,8	23,0	0,7	16,9	0,7

Tabulka č.6: Průměrná pevnost ve směru osnovy – plátno – hodnoty pevnosti jsou uvedeny v N/5cm.

Up. délka	50 mm		100 mm		200 mm	
Rychlost př.		konfidence		konfidence		konfidence
50 mm/min	841,5	23,4	867,3	26,0	823,6	24,8
100mm/min	843,7	19,5	899,9	15,4	846,4	22,7
250mm/min	845,5	23,6	887,5	21,0	800,3	34,8

Tabulka č.7: Průměrná pevnost ve směru útku – plátno – hodnoty pevnosti jsou uvedeny v N/5cm.

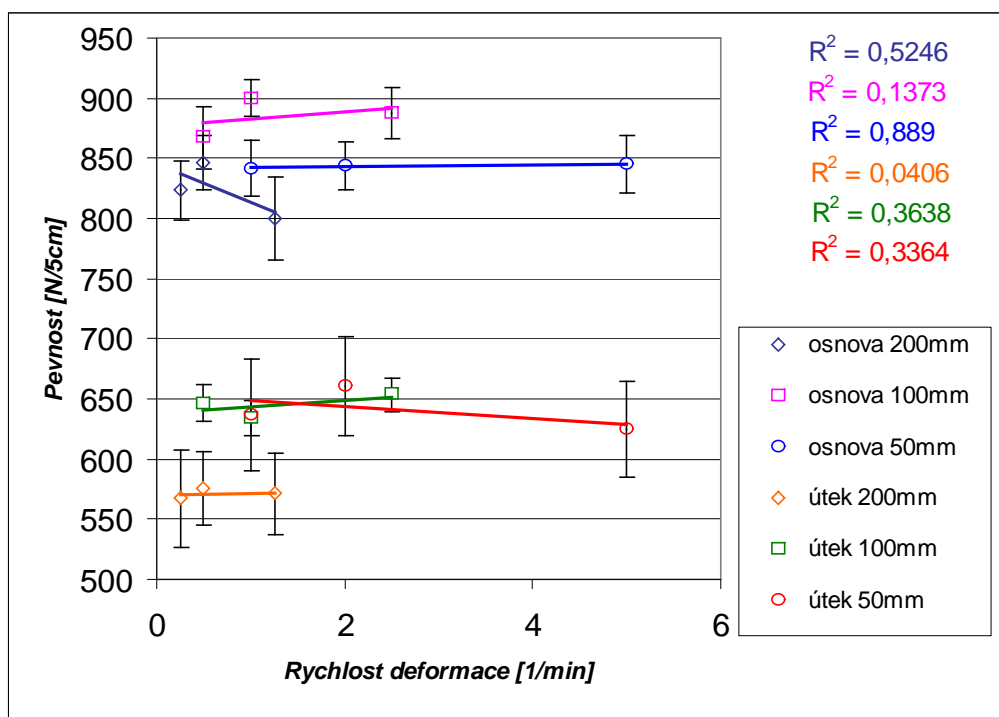
Up. délka	50 mm		100 mm		200 mm	
Rychlost př.		konfidence		konfidence		konfidence
50 mm/min	636,9	46,8	646,6	15,3	567,1	40,6
100mm/min	660,7	40,6	634,2	14,8	575,7	30,6
250mm/min	624,8	39,4	653,6	13,7	571,1	33,3

Tabulka č.8: Průměrný automatický Youngův modul pružnosti ve směru osnovy – plátno – hodnoty jsou uvedeny v N/mm².

Up. délka	50 mm		100 mm		200 mm	
Rychlost př.		konfidence		konfidence		konfidence
50 mm/min	158,5	2,5	170,8	1,9	260,4	19,7
100mm/min	158,5	3,1	179,9	2,0	252,7	4,1
250mm/min	158,9	3,7	177,4	2,8	248,5	3,4

Tabulka č.9: Průměrný automatický Youngův modul pružnosti ve směru útku – plátno – hodnoty jsou uvedeny v N/mm².

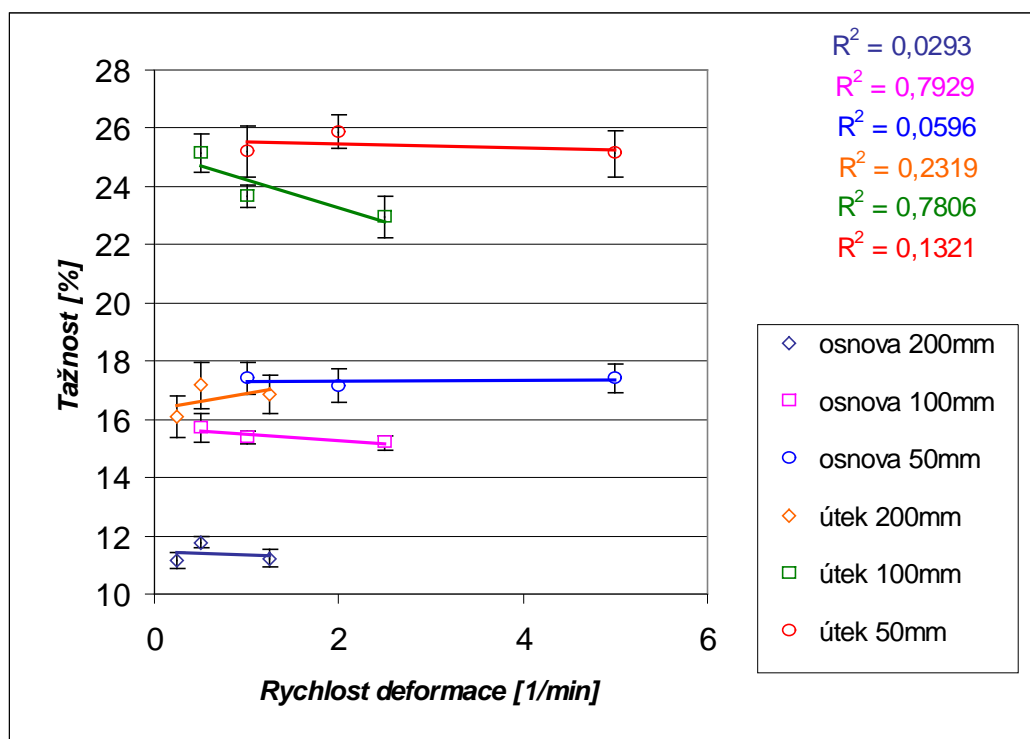
Up. délka	50 mm		100 mm		200 mm	
Rychlost př.		konfidence		konfidence		konfidence
50 mm/min	104,9	2,8	108,6	2,2	174,4	5,0
100mm/min	105,3	2,2	117,1	3,2	172,2	3,8
250mm/min	105,7	2,9	116,8	2,1	171,7	2,7



Graf č.7: Závislost pevnosti tkaniny na rychlosti deformace - plátno

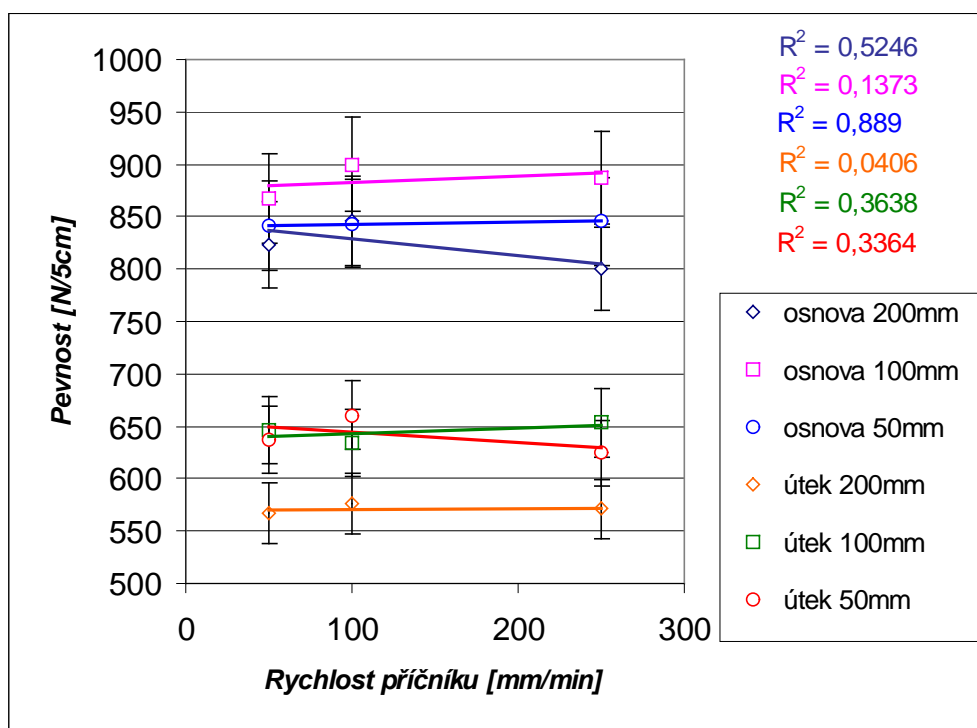
V grafu č.7 je zobrazena závislost pevnosti tkaniny na rychlosti deformace. Z grafu vyplývá, že rychlost deformace nemá výrazný vliv na pevnost tkaniny. Tento fakt potvrzují i hodnoty koeficientů determinace, které jsou poměrně nízké, v případě útku s upínací délkou 200 mm dokonce téměř nulové. Pouze v případě řady „osnova 50 mm“ je hodnota koeficientu determinace poměrně vysoká, což by ukazovalo na významný vliv rychlosti deformace na pevnost tkaniny při této upínací délce. Ovšem podíváme-li se pozorněji na zobrazené konfidenční intervaly, zjistíme, že se překrývají. To znamená, že naměřené hodnoty se pohybují při všech třech uvedených rychlostech deformace téměř ve stejném intervalu. Proto, i když hodnota koeficientu determinace vyšla v tomto případě vysoká, díky překrývajícím se intervalům spolehlivosti je i v tomto případě vliv rychlosti deformace na pevnost tkaniny nevýznamný.

Dále je patrné, že hodnoty pevností osnovy jsou podstatně vyšší než hodnoty pevností útku. Je to dáno rozdílnou dostavou osnovy a útku – dostava osnovy je větší, proto je osnova pevnější. Je zde více nití pro roznesení působící síly – na jednotlivé nitě osnovy tedy působí menší zatížení. Také je patrný vliv upínací délky na pevnost tkaniny – obecně je možné konstatovat, že pevnost klesá s rostoucí upínací délkou.



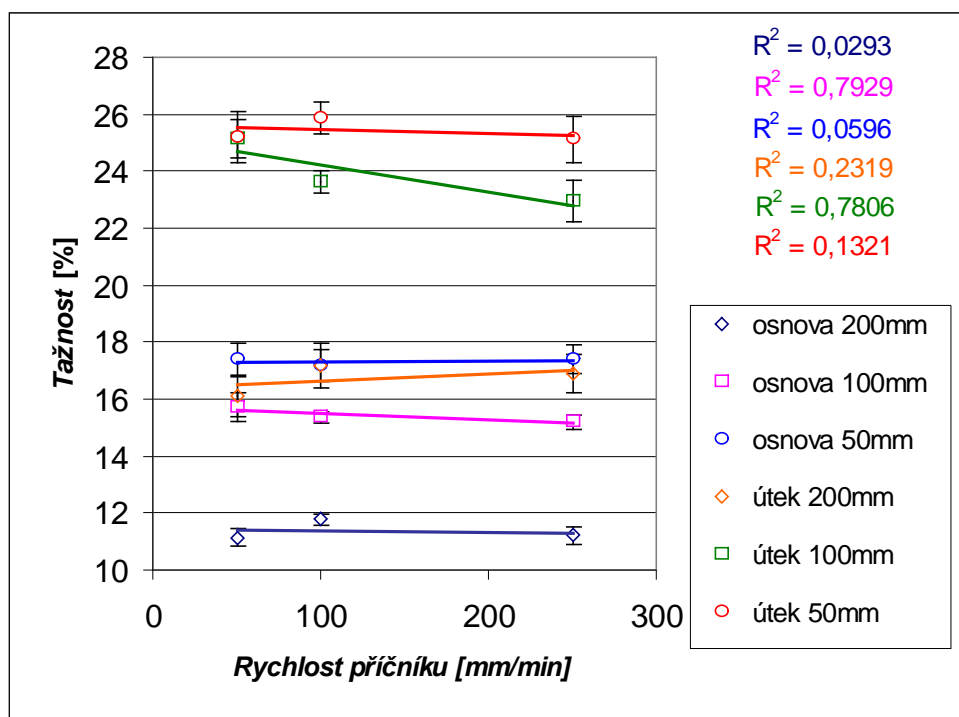
Graf č.8: Závislost tažnosti tkaniny na rychlosti deformace - plátno

V grafu č.8 je znázorněna závislost tažnosti tkaniny na rychlosti deformace. Je patrné, že se zvyšující se upínací délkou tkaniny klesá její tažnost. Dále je evidentní, že hodnoty tažnosti jsou na rychlosti deformace téměř nezávislé, což potvrzují i uvedené hodnoty koeficientů determinace, jejichž hodnoty jsou zde poměrně nízké, v některých případech se dokonce výrazně blíží 0. Je patrné, že ve směru útku je tkanina tažnější, než ve směru osnovy. Tažnost tkaniny je dána tažností příze a jejím setkáním v tkanině. Protože je dostava osnovy vyšší než dostava útku, je zde vyšší setkání útku a tím i vyšší tažnost.



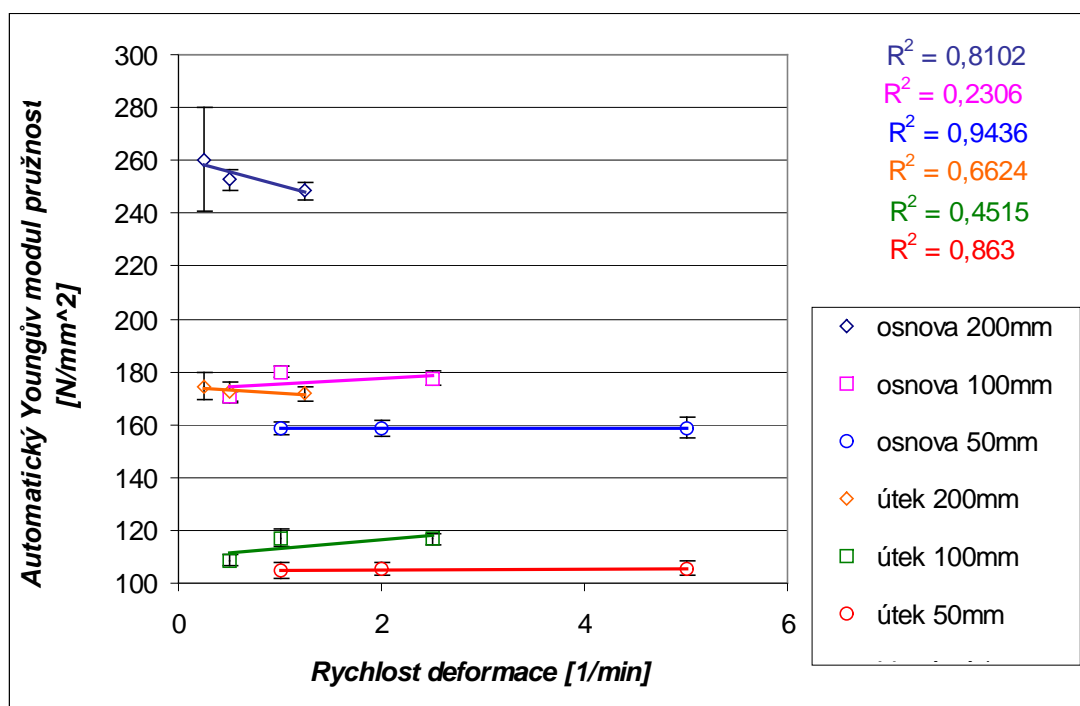
Graf č.9: Závislost pevnosti tkaniny na rychlosti příčnicku - plátno

V grafu č.9 je ukázána závislost pevnosti tkaniny na rychlosti příčnicku. I zde je patrný vliv směru síly působící na tkaninu. Ve směru útku je tkanina méně pevná, než ve směru osnovy. Je to dáno dostavou tkaniny – dostava útku je, jak již bylo zmíněno, menší než dostava osnovy. Pevnost tkaniny se mění také s upínací délkou, s rostoucí upínací délkou pevnost tkaniny klesá. Vliv rychlosti příčnicku na pevnost tkaniny je minimální, nasvědčují tomu i hodnoty koeficientů determinace.



Graf č.10: Závislost tažnosti tkaniny na rychlosti příčnicku

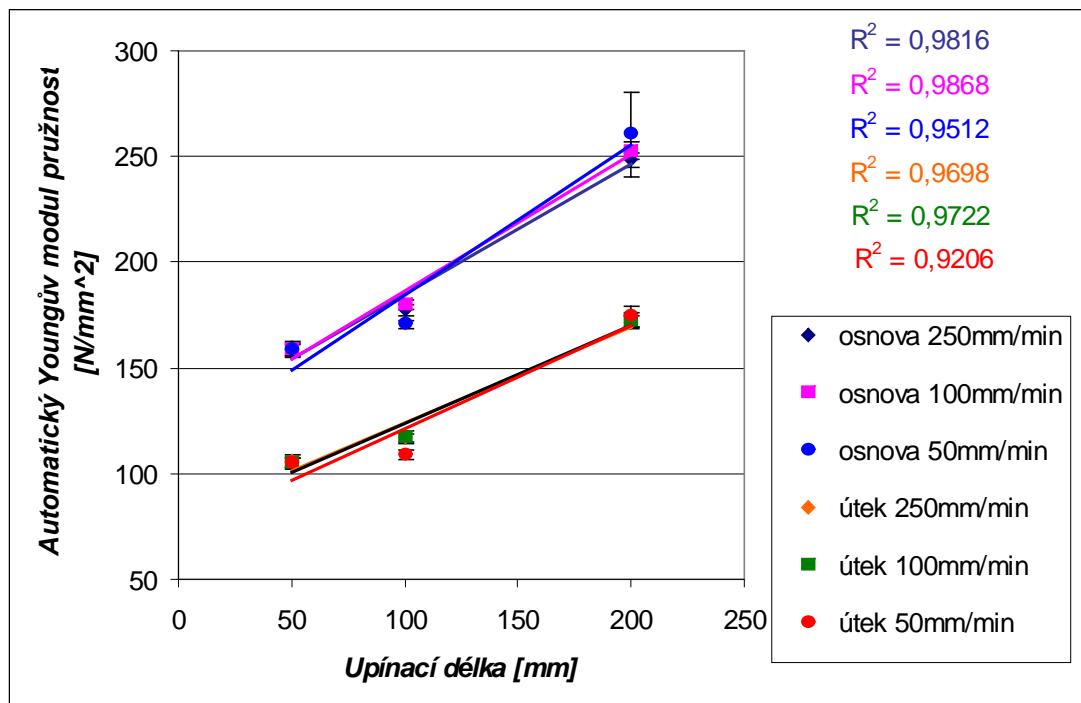
V grafu č.10 je zobrazena závislost tažnosti tkaniny na rychlosti příčnicku. Jak z grafu i z hodnot koeficientů determinace vyplývá, rychlost příčnicku má na tažnost tkaniny minimální vliv. I zde je patrná souvislost mezi tažností tkaniny a upínací délkou: s rostoucí upínací délkou tažnost tkaniny klesá. Evidentní je opět také vliv dostavy tkaniny, dostava osnovy je vyšší, proto je tkanina ve směru útku tažnější.



Graf č.11: Závislost automatického Youngova modulu pružnosti na rychlosti deformace – plátno

V grafu č.11 je zobrazena závislost automatického Youngova modulu pružnosti na rychlosti deformace. Již z hodnot koeficientů determinace je patrná souvislost mezi rychlostí deformace a modulem pružnosti – hodnoty koeficientů jsou poměrně vysoké, což nasvědčuje přímé úměrnosti. Ovšem intervaly spolehlivosti se v jednotlivých řadách překrývají, proto je možné konstatovat, že i přes vysoké hodnoty koeficientů determinace je vliv rychlosti deformace také v tomto případě nevýznamný.

Také zde je patrný vliv dostavy tkaniny – automatický Youngův modul pružnosti vykazuje vyšší hodnoty ve směru osnovy, než ve směru útku. Stejně tak je patrný i vliv upínací délky – se zmenšující se upínací délkou hodnota automatického modulu pružnosti klesá.



Graf č. 12: Závislost automatického Youngova modulu pružnosti na upínací délce – plátno

V grafu č.12 je uvedena závislost automatického Youngova modulu pružnosti v závislosti na upínací délce. Z grafu je patrná přímá úměrnost mezi těmito dvěma parametry. Tento fakt potvrzují opět vysoké hodnoty koeficientů determinace, a to ve všech případech. Také zde je patrný vliv dostavy tkaniny, hodnoty automatického Youngova modulu pružnosti jsou podstatně vyšší ve směru osnovy, než ve směru útku. Vliv rychlosti přičníku je v tomto případě minimální.

Závěr: Z uvedených grafů je patrné, že rychlost deformace a rychlost přičníku má jen minimální vliv na pevnost tkaniny. Naopak vliv upínací délky a dostavy tkaniny na pevnost tkaniny je evidentní. Také u tažnosti a automatického Youngova modulu pružnosti je patrný vliv upínací délky a dostavy tkaniny, vliv rychlosti deformace a rychlosti přičníku je minimální.

Následují tabulky a grafy týkající se tkaniny s keprovou vazbou:

Tabulka č.10: Průměrná tažnost ve směru osnovy – kepr – hodnoty tažnosti jsou uvedeny v %.

Up. délka	50 mm		100 mm		200 mm	
Rychlost př.		konfidence		konfidence		konfidence
50 mm/min	31,1	0,6	26,0	0,5	24,4	0,7
100mm/min	31,9	1,0	26,1	0,7	23,6	0,5
250mm/min	31,2	0,9	26,0	0,6	23,4	0,5

Tabulka č.11: Průměrná tažnost ve směru útku – kepr – hodnoty tažnosti jsou uvedeny v %.

Up. délka	50 mm		100 mm		200 mm	
Rychlost př.		konfidence		konfidence		konfidence
50 mm/min	34,1	0,8	30,5	0,5	26,2	1,0
100mm/min	32,9	1,3	29,3	0,7	26,0	0,7
250mm/min	34,6	1,3	28,3	1,0	25,3	0,8

Tabulka č.12: Průměrná pevnost ve směru osnovy – kepr – hodnoty pevnosti jsou uvedeny v N/5cm.

Up. délka	50 mm		100 mm		200 mm	
Rychlost př.		konfidence		konfidence		konfidence
50 mm/min	761,2	14,0	773,2	12,4	771,2	13,3
100mm/min	821,7	12,8	800,1	21,9	774,9	11,4
250mm/min	834,1	21,8	801,8	15,5	789,2	13,5

Tabulka č.13: Průměrná pevnost ve směru útku – kepr – hodnoty pevnosti jsou uvedeny v N/5cm.

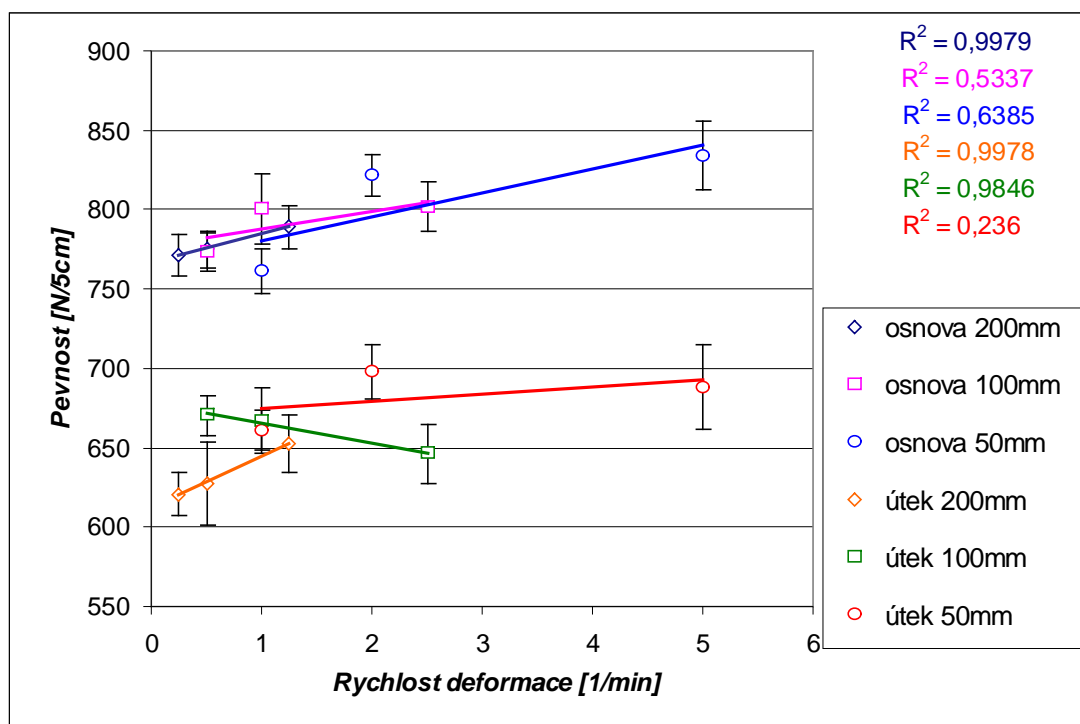
Up. délka	50 mm		100 mm		200 mm	
Rychlost př.		konfidence		konfidence		konfidence
50 mm/min	660,8	12,5	670,3	12,6	620,9	13,7
100mm/min	697,8	16,8	667,2	20,6	627,4	25,8
250mm/min	688,0	26,8	646,2	18,5	652,5	18,3

Tabulka č.14: Průměrný automatický Youngův modul pružnosti ve směru osnovy – kepr - hodnoty jsou uvedeny v N/mm².

Up. délka	50 mm		100 mm		200 mm	
Rychlost př.		konfidence		konfidence		konfidence
50 mm/min	68,3	1,2	80,0	1,0	83,7	0,6
100mm/min	73,5	1,5	81,8	1,6	87,2	0,7
250mm/min	77,3	2,1	85,2	1,4	90,7	1,1

Tabulka č.15: Průměrný automatický Youngův modul pružnosti ve směru útku – kepr - hodnoty jsou uvedeny v N/mm².

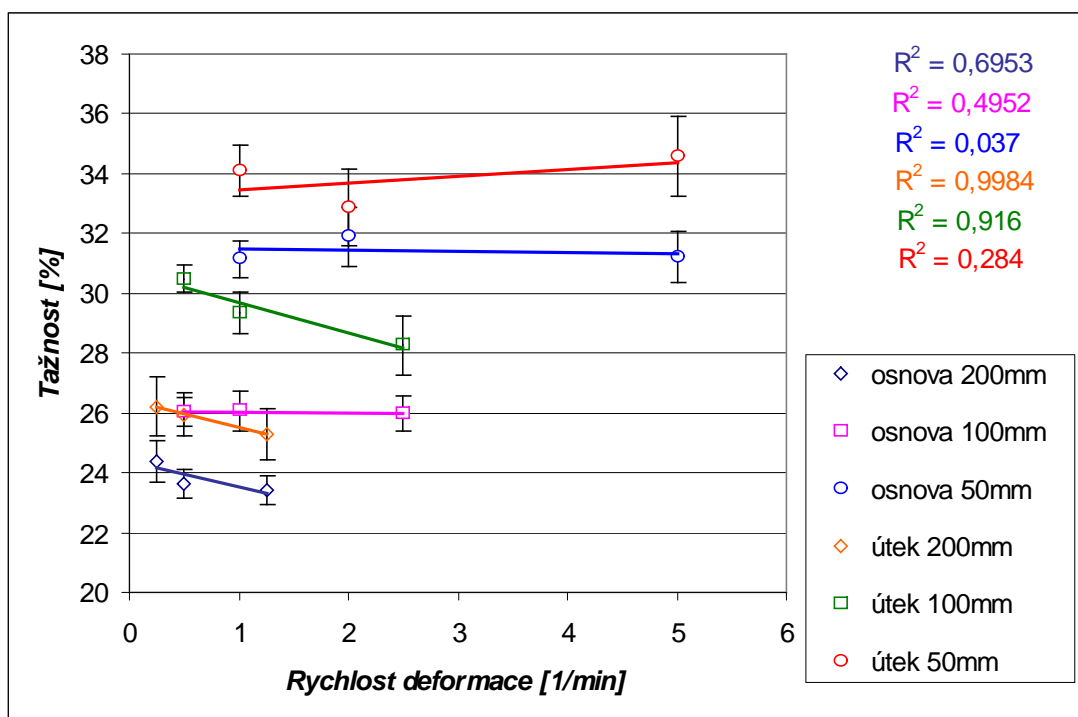
Up. délka	50 mm		100 mm		200 mm	
Rychlost př.		konfidence		konfidence		konfidence
50 mm/min	54,7	1,15	61,2	1,0	64,8	1,0
100mm/min	58,2	1,6	61,7	0,8	64,6	1,4
250mm/min	57,0	1,7	64,7	1,0	70,8	1,5



Graf č.13: Závislost pevnosti tkaniny na rychlosti deformace - kepr

V grafu č.13 je zobrazena závislost pevnosti tkaniny na rychlosti deformace. Zdá se, že u této tkaniny není, oproti plátnu, vliv rychlosti deformace tak zanedbatelný, hodnoty koeficientů determinace nasvědčují přímé úměrnosti – s rostoucí rychlostí deformace tedy roste pevnost tkaniny, tento trend je patrný u hodnot měřených ve směru osnova s upínací délkou 200 mm a ve směru útku s upínací délkou 200 a 100 mm, kde se hodnoty koeficientů determinace významně blíží 1. Ovšem podíváme-li se opět blíže na chybové úsečky, zjistíme, že intervaly spolehlivosti se zde do velké míry překrývají, proto ani v případě této tkaniny není vliv rychlosti deformace na pevnost příliš významný.

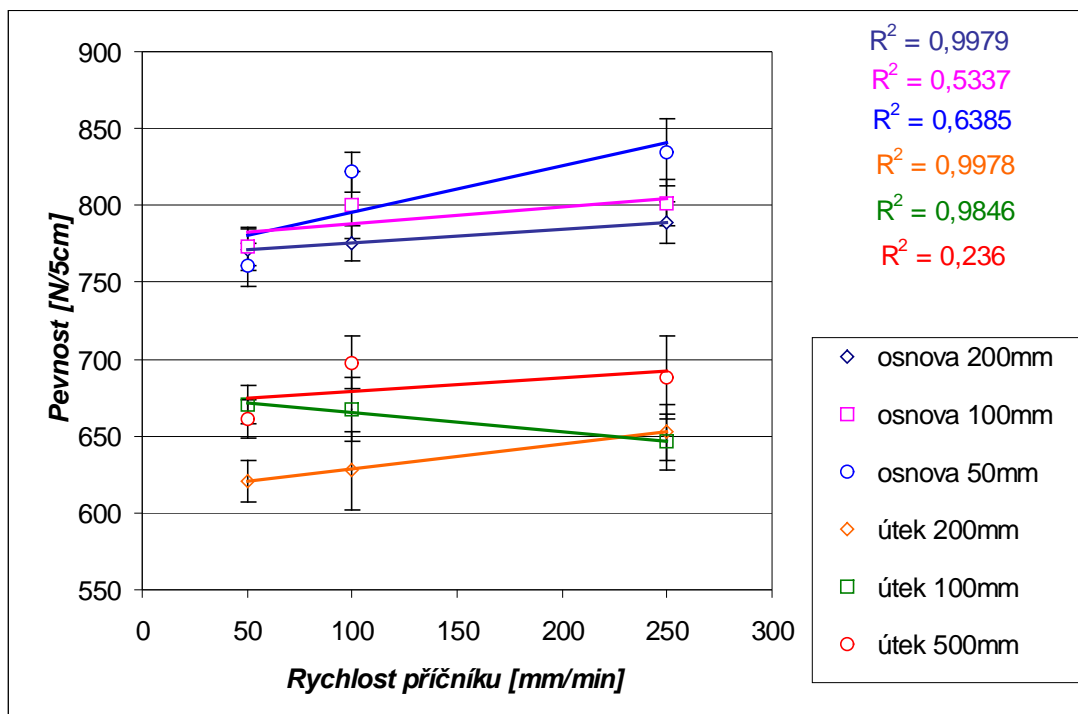
Také u tkaniny s keprovou vazbou je dostava osnova větší, než dostava útku. To se projevuje na pevnosti – pevnost ve směru osnova je vyšší, než pevnost ve směru útku, ve směru osnova je více nití než ve směru útku, proto na jednotlivé nitě osnova připadá menší zatížení. I zde pevnost tkaniny souvisí také s upínací délkou: se zvyšující se upínací délkou se pevnost snižuje.



Graf č.14: Závislost tažnosti tkaniny na rychlosti deformace – kepr

V grafu č.14 je uvedena závislost tažnosti tkaniny na rychlosti deformace. Tažnost tkaniny je opět ovlivněna její dostavou, oproti tkanině s plátnovou vazbou není u kepru tento vliv tak markantní, platí ale, že při dané upínací délce je tažnost útku vždy vyšší, než tažnost osnovy. Dále tažnost souvisí s upínací délkou: se zvětšující se upínací délkou se hodnota tažnosti snižuje.

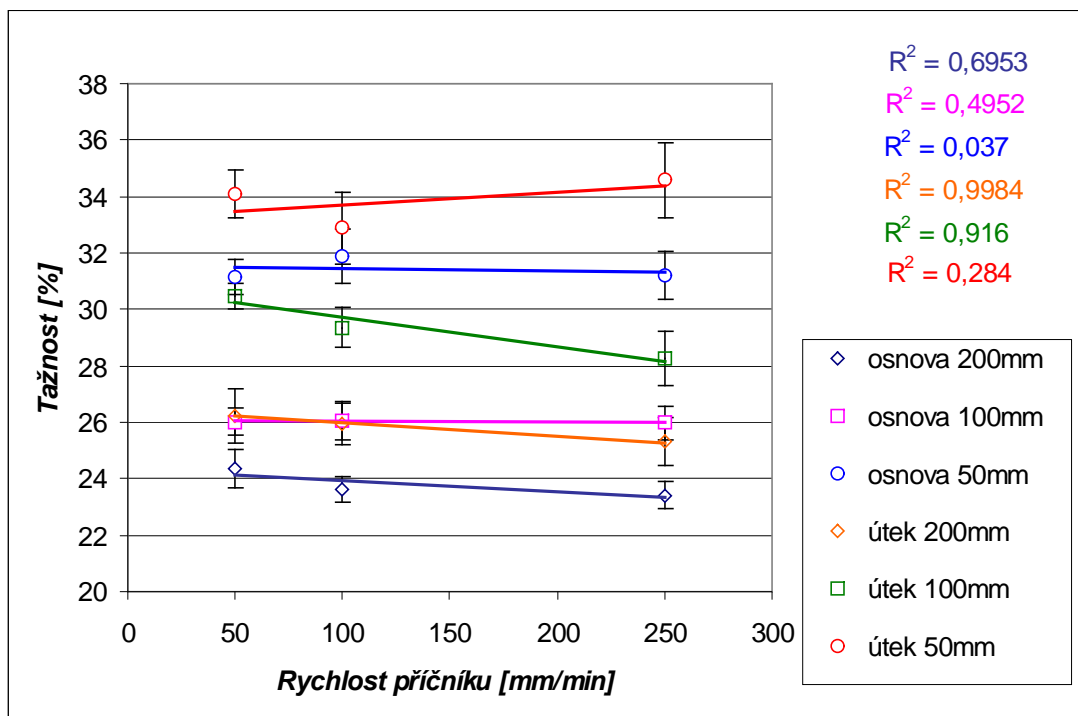
Hodnoty koeficientů determinace se v tomto případě značně liší, pohybují se od téměř nulových (řada „osnova 50 mm“) až po hodnoty blížíci se jedné (řada „útek 200 mm“). Ovšem podíváme-li se opět na rozsah konfidenčních intervalů, zjistíme, že se také zde překrývají. Vliv rychlosti deformace na tažnost je tedy i v tomto případě minimální.



Graf č.15: Závislost pevnosti tkaniny na rychlosti přičníku - kepr

V grafu č.15 je vyobrazena závislost pevnosti tkaniny na rychlosti přičníku. Hodnoty uvedených koeficientů determinace ukazují na významný vliv rychlosti přičníku na pevnost tkaniny, jejich hodnoty jsou poměrně vysoké. Také zde je ale evidentní, že konfidenční intervaly se v jednotlivých řadách překrývají, rychlost přičníku tedy nemá na pevnost tkaniny významný vliv.

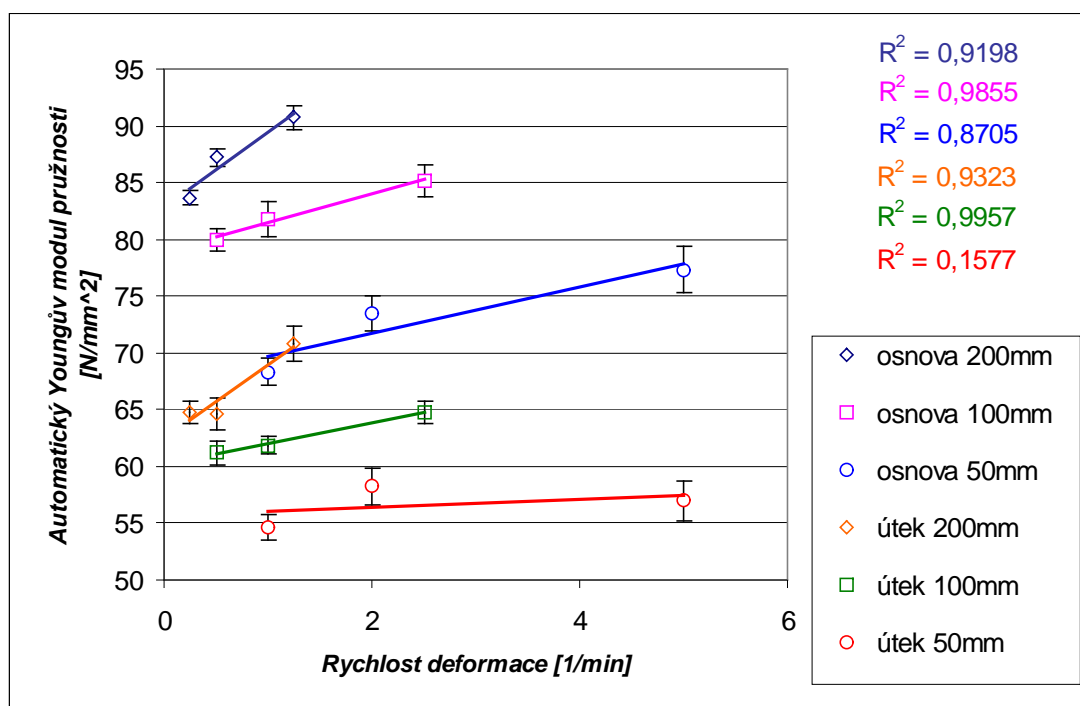
Také je evidentní, že pevnost tkaniny ve směru osnova je podstatně vyšší, než ve směru útku. To je, jak již bylo uvedeno výše, zapříčiněno rozdílnou dostavou osnova a útku – dostava útku je nižší, proto je jeho pevnost menší. I v tomto případě souvisí tažnost tkaniny s upínací délkou: s rostoucí upínací délkou klesá i zde pevnost tkaniny.



Graf č.16: Závislost tažnosti tkaniny na rychlosti příčnicku - kepr

V grafu č.16 je zobrazena závislost tažnosti tkaniny na rychlosti příčnicku. Jako v předešlých grafech i zde je patrný vliv směru síly, působící na tkaninu: ve směru útku je tkanina při dané upínací délce vždy tažnější. Na hodnoty tažnosti tkaniny má i zde vliv také upínací délka: s rostoucí upínací délkou se tažnost snižuje.

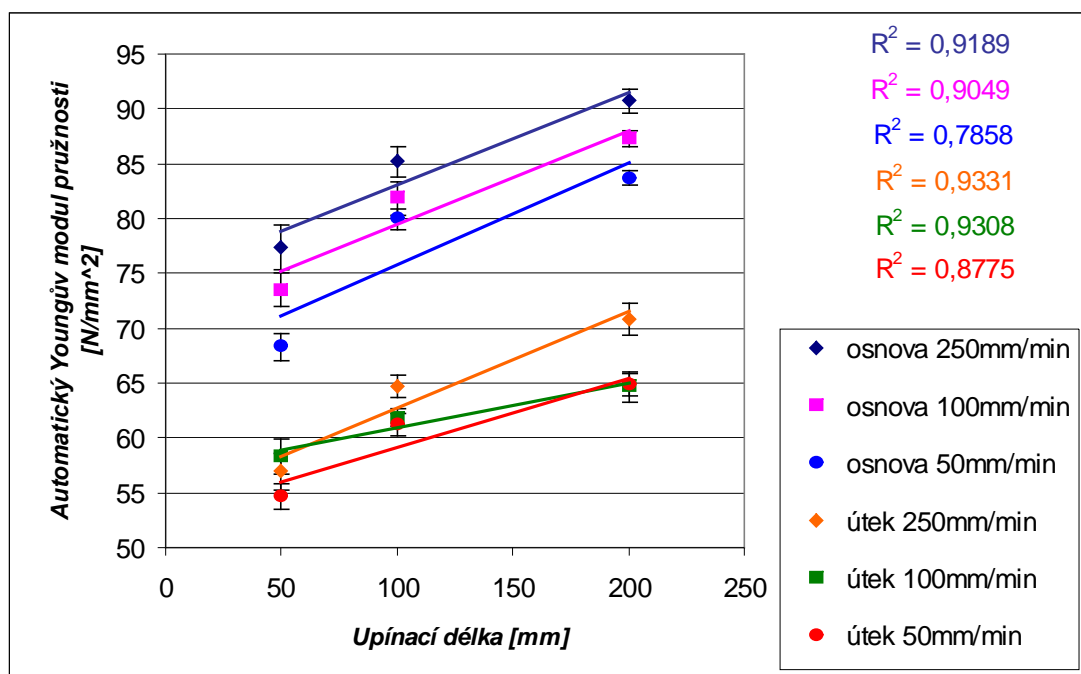
Koeficienty determinace také zde ukazují na souvislost mezi rychlostí příčnicku a tažností tkaniny. Tyto hodnoty nasvědčují přímé úměrnosti. I v tomto případě je ale patrné, že konfidenční intervaly se v jednotlivých řadách překrývají, naměřené hodnoty se tedy pohybují v jednotlivých řadách s měnící se rychlostí příčnicku ve stejných intervalech, proto ani zde není vliv rychlosti příčnicku na tažnost významný.



Graf č.17: Závislost automatického Youngova modulu pružnosti na rychlosti deformace - kepr

Z grafu č.17 je patrná závislost automatického Youngova modulu pružnosti na rychlosti deformace. Se zvyšující se rychlostí deformace se zvyšují hodnoty Youngova modulu pružnosti. Tuto skutečnost opět potvrzují také hodnoty koeficientů determinace. Ovšem při pohledu na konfidenční intervaly je i v případě automatického Youngova modulu pružnosti patrné, že se v jednotlivých řadách překrývají, vliv rychlosti deformace není ani v tomto případě významný.

Také zde je patrné, že ve směru osnovy jsou hodnoty automatického Youngova modulu pružnosti při stejné upínací délce větší, než ve směru útku. Roli zde hraje také upínací délka – se snižující se upínací délce se snižuje také automatický Youngův modul pružnosti.



Graf č.18: Závislost automatického Youngova modulu pružnosti na upínací délce – kepr

Graf č.18 zobrazuje závislost automatického Youngova modulu pružnosti na upínací délce. Automatický Youngův modul pružnosti stoupá přímo úměrně s rostoucí upínací délkou, tento fakt potvrzují i hodnoty koeficientů determinace blíží se 1. Oproti tkanině s plátňovou vazbou, zde je patrný také vliv rychlosti přičníku – se snižující se rychlosti přičníku klesají hodnoty automatického Youngova modulu pružnosti. Patrný je také vliv dostavy tkaniny – ve směru osnova jsou hodnoty automatického Youngova modulu pružnosti vyšší, než ve směru útku.

Pro obě tkaniny byla zkoumána také souvislost času do přetrhu tkaniny, upínací délky a rychlosti deformace. Pro obě proměřované tkaniny ve směru osnova i útku platí, že s rostoucí upínací délkou lineárně roste čas do přetrhu vzorku, naopak s rostoucí rychlostí reformace čas do přetrhu klesá.

Závěr: V případě tkaniny s keprovou vazbou je partneré, že na pevnost, tažnost i automatický Youngův modul pružnosti má vliv, jako u plátna, upínací délka a dostava, vliv rychlosti přičníku a rychlosti deformace je stejně jako v případě tkaniny s plátňovou vazbou minimální.

2.3.3 Analýza rozptylu

Vliv výše zmíněných faktorů: rychlosti deformace (faktor A) a upínací délky (faktor B) na pevnost, tažnost a automatický Youngův modul pružnosti tkanin může být zjišťován pomocí analýzy rozptylu a následně může být porovnána významnost těchto vlivů.

Analýza rozptylu, ANOVA, se v technické praxi používá buď jako samostatná technika, nebo jako postup, umožňující analýzu zdrojů variability u lineárních statistických modelů. Cílem je zjistit, které z faktorů významně ovlivňují sledované veličiny. V technické praxi se ANOVA uplatňuje v úlohách:

- Určení vlivu způsobu přípravy vzorků na výsledek analýzy.
- Určení vlivu přístroje, lidského faktoru a obsluhy na výsledek měření.
- Zpracování různých mezilaboratorních experimentů.
- Zpracování plánovaných experimentů, u kterých se systematicky sleduje vliv rozličných faktorů (teploty, času, koncentrace a dalších) na výsledek reakce či analýzy [24].

Při třídění podle jednoho faktoru (jednofaktorová analýza rozptylu) zkoumáme jeho vliv na výsledek experimentu. Pro případ dvou úrovní jde o porovnání dvou výběrů (dvoufaktorová analýza rozptylu).

Pokud jsou efekty obou faktorů pevné (tzn., že sledujeme pouze rozdíly mezi danými efekty) nebo náhodné, jde o modely s pevnými nebo náhodnými efekty. Pro stejný počet opakování se experimenty označují jako vyvážené, pro nestejný počet opakování jako experimenty nevyvážené [23].

Dvoufaktorová analýza rozptylu

Experimenty se provádí na různých úrovních dvou faktorů A a B . Kombinace úrovní faktorů tvoří typickou mřížkovou strukturu, jejímž elementem je tzv. cela. Platí, že (i,j) -tá cela odpovídá kombinaci úrovně A_i faktoru A a B_j faktoru B . V každé cele je obecně n_{ij} pozorování. Schematicky je mřížková struktura znázorněna v tabulce :

Tabulka č.16: Mřížková struktura pro kombinaci faktorů A a B[24]

	B_1	B_2	B_M
A_1
A_2	.	<i>Cela A_2B_2</i>	
.
.
.
A_N

Obecný model analýzy rozptylu pro případ více opakování (v jedné cele je více hodnot) je vyjádřen rovnicemi:

$$y_{ijk} = \mu_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (2.3)$$

$$\mu_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \tau_{ij}, \quad (2.4)$$

kde y_{ijk} je výsledek měření, μ_{ij} skutečná „teoretická“ hodnota výsledků analýzy, ε_{ijk} náhodná chyba (předpokládá se, že rozdělení chyb je normální). Kromě řádkových α_i a sloupcových β_i efektů se zde vyskytuje také interační člen τ_{ij} , který je důsledkem různých kombinací sloupcových a řádkových efektů [23].

Vyvážená dvoufaktorová analýza rozptylu (ANOVA2B)

Jedná se o modely s pevnými efekty, kde v každé cele je $n_{ij}=n$ pozorování. Model analýzy rozptylu je zde vyjádřen rovnicemi (2.3) a (2.4). Odhadem μ_{ij} jsou aritmetické průměry:

$$\hat{\mu}_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_{ijk}. \quad (2.5)$$

Pro odhady ostatních parametrů se použijí vztahy, kde N je počet sloupců, M je počet řádků, e_{ijk} reziduální (zbytkový) rozptyl, ..odhad interakcí [24].

$$\hat{\mu} = \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \hat{\mu}_{ij} \quad \hat{\alpha}_i = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \hat{\mu}_{ij} - \hat{\mu} \quad (2.6) \quad (2.7)$$

$$\hat{\beta}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{\mu}_{ij} - \hat{\mu} \quad \hat{e}_{ijk} = y_{ijk} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j \quad (2.8) \quad (2.9)$$

$$\hat{\tau}_{ij} = \hat{\mu}_{ij} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j \quad (2.10)$$

V regresní analýze je nejužívanější metoda nejmenších čtverců. Jednotlivé součty čtverců odchylek a složky rozptylu se zapisují do tabulky, která má pro dvoufaktorovou analýzu rozptylu s pevnými efekty tvar, uvedený v tabulce č.17:

Tabulka č.17: Analýza rozptylu pro dvojné třídění a vyvážený experiment [24]

<i>Součet čtverců pro</i>	<i>Stupně volnosti</i>	<i>Průměrný čtverec</i>	<i>F-kritérium</i>
<i>Faktor A</i> $S_A = nM \sum_{i=1}^N \hat{\alpha}_i^2$	$N-1$	$M_A = \frac{S_A}{N-1}$	$F_A = \frac{M_A}{M_R}$
<i>Faktor B</i> $S_B = nM \sum_{j=1}^M \hat{\beta}_j^2$	$M-1$	$M_B = \frac{S_B}{M-1}$	$F_B = \frac{M_B}{M_R}$
<i>Interakce AB</i> $S_{AB} = n \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \hat{\tau}_{ij}^2$	$(N-1)(M-1)$	$M_{AB} = \frac{S_{AB}}{(N-1)(M-1)}$	$F_{AB} = \frac{M_{AB}}{M_R}$
<i>Reziduální</i> $S_R = n \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^n (y_{ijk} - \hat{\mu}_{ij})^2$	$MN(n-1)$	$M_R = \frac{S_R}{MN(n-1)}$	---
<i>Celkový</i> $S_C = n \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^n (y_{ijk} - \hat{\mu})^2$	$MNn-1$	---	---

Faktor A značí sloupcové efekty (rychlost posuvu příčnicku), faktor B řádkové efekty (upínací délka). V druhém sloupci je součet všech čtvercových odchylek faktoru A a B , jejich vzájemná interakce (souvztah) a součet reziduální a celkový. Využitím statistik F_A , F_B se testuje, zda je možné považovat sloupcové a řádkové efekty, popř. interakce F_{AB} za nevýznamné. Nevychýleným odhadem je reziduální rozptyl M_R , který bere v úvahu vnější (neuvažované) vlivy [23].

Podle tabulky 17 byly vytvořeny tabulky 18 a 19. Podle těchto tabulek může být porovnán vliv rychlosti příčnicku a upínací délky na pevnost, tažnost a automatický Youngův modul pružnosti obou testovaných tkanin. Porovnáním hodnot průměrných čtverců M_A a M_B s reziduálním rozptylem M_R lze pomocí F-kritérií faktorů A a B , popř. jejich vzájemných interakcí (podle jejich velikosti) určit, jestli je, či není daný vliv významný. O významný vliv se jedná, je-li hodnota F-kritéria vyšší než hodnota kritického kvantilu.

2.3.3.1 Vliv rychlosti posuvu příčnicku a upínací délky na pevnost, tažnost a automatický Youngův modul pružnosti pro tkaninu s plátňovou vazbou

Tento vliv je možné hodnotit podle výsledků uvedených v tabulce č.18. Porovnáním hodnot F-kritérií s hodnotami kritického kvantilu je zjištěna významnost/nevýznamnost daného faktoru, respektive interakce faktorů na sledované parametry (pevnost,... tkanin).

Tabulka č.18: Porovnání závislosti faktorů upínací délky a rychlosti příčnicku pro tkaninu s plátňovou vazbou

pevnost osnovy	součet čtverců	prům.čtverec	stupně volnosti	F-kritérium	kritický kvantil	závěr
up.délka	5726,00	2863,00	2	6,39	6,94	Nevýznamný
rychlost p.	737,63	368,81	2	0,82	6,94	Nevýznamný
interakce	194,25	194,25	1	0,36	10,13	Nevýznamný
rezidua	1598,85	532,95	3			
celkem	8256,72	1032,09	8			
pevnost útku	součet čtverců	prům.čtverec	stupně volnosti	F-kritérium	kritický kvantil	závěr
up.délka	9283,30	4641,65	2	12,94	6,94	Významný
rychlost p.	140,56	70,28	2	0,20	6,94	Nevýznamný
interakce	148,65	148,65	1	0,35	10,13	Nevýznamný
rezidua	1286,27	428,76	3			
celkem	10858,77	1357,35	8			

tažnost osnovy	součet čtverců	prům.čtverec	stupně volnosti	F-kritérium	kritický kvantil	závěr
up.délka	55,38	27,69	2	327,88	6,94	Významný
rychlost p.	0,10	0,05	2	0,57	6,94	Nevýznamný
interakce	0,01	0,01	1	0,14	10,13	Nevýznamný
rezidua	0,32	0,11	3			
celkem	55,81	6,98	8			
tažnost útku	součet čtverců	prům.čtverec	stupně volnosti	F-kritérium	kritický kvantil	závěr
up.délka	131,23	65,61	2	64,12	6,94	Významný
rychlost p.	0,62	0,31	2	0,30	6,94	Nevýznamný
interakce	0,71	0,71	1	0,63	10,13	Nevýznamný
rezidua	3,38	1,13	3			
celkem	135,94	16,99	8			
modul osnovy	součet čtverců	prům.čtverec	stupně volnosti	F-kritérium	kritický kvantil	závěr
up.délka	14766,50	7383,25	2	756,61	6,94	Významný
rychlost p.	18,11	9,05	2	0,93	6,94	Nevýznamný
interakce	0,00	0,00	1	0,00	10,13	Nevýznamný
rezidua	39,03	13,01	3			
celkem	14823,64	1852,96	8			
modul útku	součet čtverců	prům.čtverec	stupně volnosti	F-kritérium	kritický kvantil	závěr
up.délka	8074,16	4037,08	2	453,94	6,94	Významný
rychlost p.	11,25	5,62	2	0,63	6,94	Nevýznamný
interakce	12,07	12,07	1	1,54	10,13	Nevýznamný
rezidua	23,51	7,84	3			
celkem	8120,98	1015,12	8			

Podle hodnot F-kritérií uvedených v tabulce je patrný významný vliv upínací délky na pevnost, tažnost i automatický Youngův modul pružnosti. Pouze v případě pevnosti osnovy tento vliv vychází jako nevýznamný, ovšem hodnota F-kritéria se i zde přibližuje hodnotě kritického kvantilu. Naopak vliv rychlosti příčnicku ani interakce obou faktorů nemá, podle hodnot F-kritérií, na sledované parametry vliv. Tyto výsledky potvrzují tvrzení uvedená v kapitole 2.3.2.

2.3.3.2 Vliv rychlosti posuvu příčnicku a upínací délky na pevnost, tažnost a automatický Youngův modul pružnosti pro tkaninu s keprovou vazbou

Zde je možné vliv hodnotit podle výsledků uvedených v tabulce č.19. Porovnáním hodnot F-kritérií s hodnotami kritického kvantilu je opět zjištěna významnost/nevýznamnost daného faktoru, respektive interakce faktorů na sledované parametry (pevnost,... tkanin).

Tabulka č.19: Porovnání závislosti faktorů upínací délky a rychlosti příčnicku pro tkaninu s keprovou vazbou

pevnost osnovy	součet čtverců	prům.čtverec	stupně volnosti	F-kritérium	kritický kvantil	závěr
up.délka	1215,37	607,68	2	1,97	6,94	Nevýznamný
rychlost p.	1995,63	997,81	2	3,23	6,94	Nevýznamný
interakce	1030,47	1030,47	1	15,19	10,13	Významný
rezidua	203,47	67,82	3			
celkem	4444,94	555,62	8			
pevnost útku	součet čtverců	prům.čtverec	stupně volnosti	F-kritérium	kritický kvantil	závěr
up.délka	3692,94	1846,47	2	4,14	6,94	Nevýznamný
rychlost p.	246,41	123,20	2	0,28	6,94	Nevýznamný
interakce	150,51	150,51	1	0,28	10,13	Významný
rezidua	1633,92	544,64	3			
celkem	5723,77	715,47	8			
tažnost osnovy	součet čtverců	prům.čtverec	stupně volnosti	F-kritérium	kritický kvantil	závěr
up.délka	95,76	47,88	2	239,40	6,94	Významný
rychlost p.	0,50	0,25	2	1,25	6,94	Nevýznamný
interakce	0,06	0,06	1	0,26	10,13	Nevýznamný
rezidua	0,74	0,25	3			
celkem	97,06	12,13	8			
tažnost útku	součet čtverců	prům.čtverec	stupně volnosti	F-kritérium	kritický kvantil	závěr
up.délka	90,43	45,21	2	48,27	6,94	Významný
rychlost p.	2,45	1,22	2	1,31	6,94	Nevýznamný
interakce	0,10	0,10	1	0,08	10,13	Nevýznamný
rezidua	3,65	1,22	3			
celkem	96,62	12,08	8			
modul-osnova	součet čtverců	prům.čtverec	stupně volnosti	F-kritérium	kritický kvantil	závěr
up.délka	282,04	141,02	2	144,72	6,94	Významný
rychlost p.	80,78	40,39	2	41,45	6,94	Nevýznamný
interakce	2,34	2,34	1	4,49	10,13	Nevýznamný
rezidua	1,56	0,52	3			
celkem	366,72	45,84	8			
modul-útek	součet čtverců	prům.čtverec	stupně volnosti	F-kritérium	kritický kvantil	závěr
up.délka	149,29	74,64	2	13,60	6,94	Významný
rychlost p.	29,21	14,60	2	2,66	6,94	Nevýznamný
interakce	6,83	6,83	1	1,35	10,13	Nevýznamný
rezidua	15,12	5,04	3			
celkem	200,44	25,06	8			

Z uvedených hodnot F-kritérií lze vyčíst, že v pro případ pevnosti osnovy a útku je vliv rychlosti příčnicku a upínací délky zároveň významným faktorem, ovlivňujícím pevnost, přesto že tyto faktory samy o sobě významný vliv na pevnost tkaniny nemají. U tažnosti je

patrný významný vliv upínací délky ve směru osnovy i útku. Naopak vliv rychlosti příčniku se v tomto případě ukazuje jako nevýznamný, stejně jako interakce obou faktorů. Také u výsledků týkajících se automatického Youngova modulu pružnosti je patrný významný vliv upínací délky, naopak vliv obou faktorů současně a vliv rychlosti příčniku podle hodnot F-kritérií vycházejí nevýznamné.

Závěr: Upínací délka je faktorem významně ovlivňujícím pevnost, tažnost a automatický Youngův modul pružnosti tkanin použitých v tomto experimentu, a to ve směru osnovy i útku. Vyplyvá to z porovnání hodnot F-kritérií s hodnotami kritických kvantilů. Ze stejného porovnání zároveň vyplývá, že rychlost příčniku ani interakce obou faktorů sledované parametry výše zmíněných tkanin významně neovlivňuje.

2.3.4 Závislost pevnosti, tažnosti a modulu pružnosti tkaniny na upínací délce

V předchozích kapitolách byl, mimo jiné, sledován vliv upínací délky, rychlosti příčniku a rychlosti deformace na pevnost, tažnost a automatický Youngův modul pružnosti tkaniny ve směru osnovy a útku. V kapitole 2.3.3 bylo zjištěno, že vliv rychlosti příčniku je nevýznamný, v kapitole 2.3.2 bylo ukázáno, že také vliv rychlosti deformace je, hlavně v případě tkaniny s plátňovou vazbou, oproti vlivu upínací délky nepatrný. Naopak vliv upínací délky na sledované parametry tkaniny byl významný.

Naproti tomu zásadní vliv má rychlost deformace na výsledky měření pevnosti v tahu a tažnosti u přízí. Proto je, v případě přízí, možné při sledování vlivu rychlosti deformace na jejich relativní pevnost vycházet z modelu popsaného vztahem (2.11), který vyjadřuje závislost pevnosti na rychlosti deformace.

$$\sigma_f^d = \left[1 + f\left(\frac{v_\varepsilon}{v_{\varepsilon 0}}\right) \right] \left[1 + \lambda\left(\frac{v_\varepsilon}{v_{\varepsilon 0}}\right) \right] \sigma_f^0, \quad (2.11)$$

kde σ_f^d je napětí vlákna, index f značí vlákno, d značí dynamické zatížení, $f(v_\varepsilon/v_{\varepsilon 0})$ a $\lambda(v_\varepsilon/v_{\varepsilon 0})$ jsou definované jako funkce závislosti rychlosti deformace.

Podle vztahu (2.11) byla modelována např. pevnost skleněných svazků vláken v závislosti na zvyšujících se rychlostech deformací nebo závislost pevnosti na rychlostech deformací při různých teplotách [23].

V případě tkanin však, jak již bylo zmíněno výše, vychází vliv rychlosti přičínku i deformace jako nevýznamný, proto byl vztah (2.11) upraven tak, aby jím bylo možné vyjádřit závislost pevnosti, tažnosti a modulu pružnosti tkanin na upínací délce. Funkce závislosti rychlosti deformace zde byly nahrazeny funkcemi závislosti upínací délky $f_l(l/l_0)$ a $\lambda_l(l/l_0)$. Vzniklý vztah je možno nahradit polynomem 2. stupně:

$$f_l\left(\frac{l}{l_0}\right) = A \ln l_0 + B \quad (2.12)$$

$$\lambda_l\left(\frac{l}{l_0}\right) = A_1 \ln l_0 + B_1 \quad (2.13)$$

$$P = (1 + A \ln l_0 + B)(1 + A_1 \ln l_0 + B_1)P_0 \quad (2.14)$$

$$P = K_1 + K_2 \ln l_0 + K_3 (\ln l_0)^2, \quad (2.15)$$

kde K_1 , K_2 a K_3 jsou koeficienty dané vztahy (2.16) až (2.18).

$$K_1 = \frac{(1+B)(1+B_1)}{P_0}, \quad K_2 = \frac{A + A_1 + AB_1 + A_1B}{P_0}, \quad K_3 = \frac{AB}{P_0} \quad (2.16) \quad (2.17) \quad (2.18)$$

Koeficienty K_1 , K_2 , K_3 byly vypočítány podle vztahu (2.15) metodou nejmenších čtverců. Dosazením koeficientů do vztahu (2.15) bylo získáno:

Pro plátno:

$$\text{Pro pevnost po osnově: } P = -1247,66 + 942,64 \ln l_0 - 104,07 (\ln l_0)^2 \quad (2.19)$$

$$\text{Pro pevnost po útku: } P = -532,1 + 560,73 \ln l_0 - 66,33 (\ln l_0)^2 \quad (2.20)$$

$$\text{Pro tažnost po osnově: } P = 118,19 - 34,38 \ln l_0 + 3,12 (\ln l_0)^2 \quad (2.21)$$

$$\text{Pro tažnost po útku: } P = 81,41 - 17,08 \ln l_0 + 1,25 (\ln l_0)^2 \quad (2.22)$$

$$\text{Pro modul po osnově: } P = 1134,42 - 483,7 \ln l_0 + 59,84 (\ln l_0)^2 \quad (2.23)$$

$$\text{Pro modul po útku: } P = 998,34 - 432,55 \ln l_0 + 52,24 (\ln l_0)^2 \quad (2.24)$$

Pro kepr:

$$\text{Pro pevnost po osnově: } P = 1197,55 - 158,92 \ln l_0 + 15,12 (\ln l_0)^2 \quad (2.25)$$

$$\text{Pro pevnost po útku: } P = 1061,36 - 142,2 \ln l_0 + 11,59 (\ln l_0)^2 \quad (2.26)$$

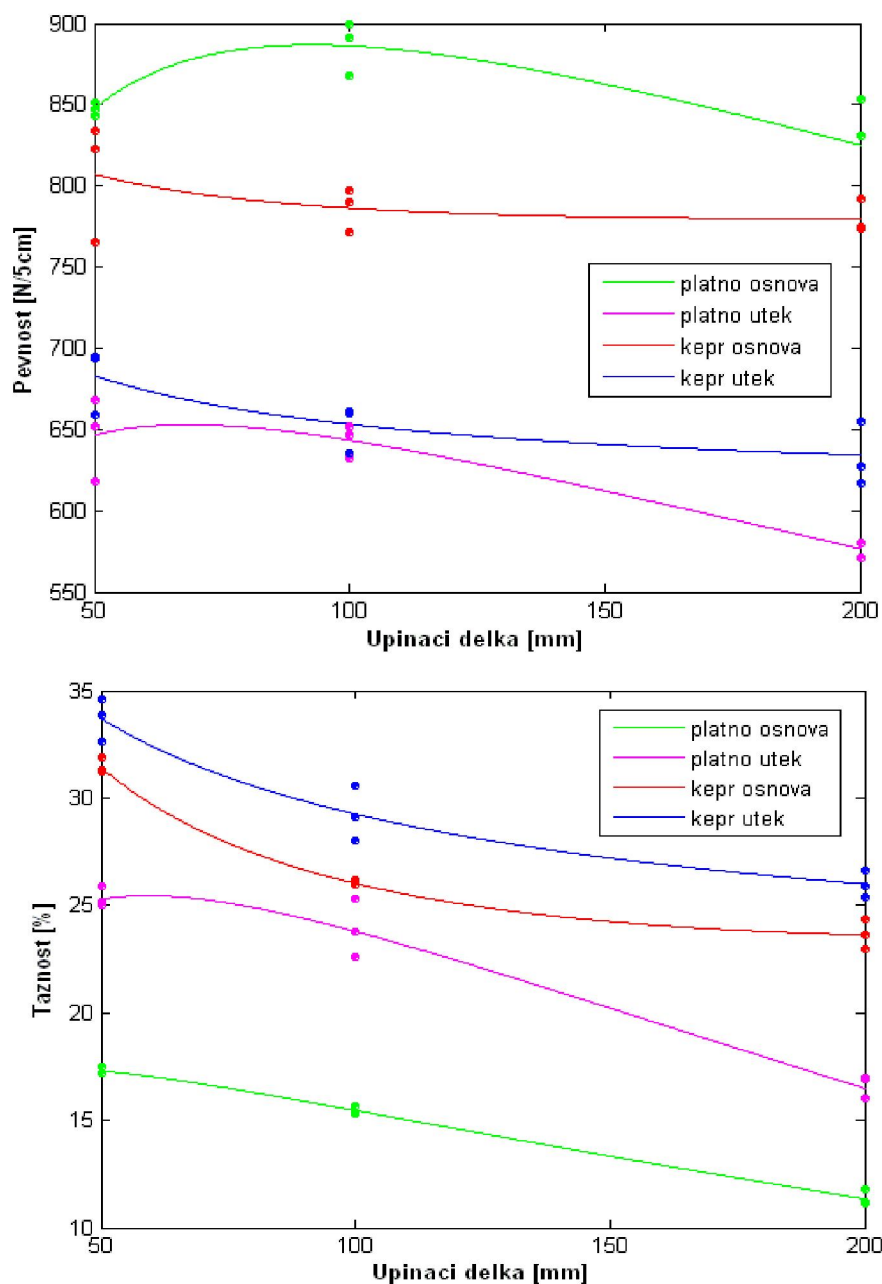
$$\text{Pro tažnost po osnově: } P = -14,85 + 17,45 \ln l_0 - 2,36 (\ln l_0)^2 \quad (2.27)$$

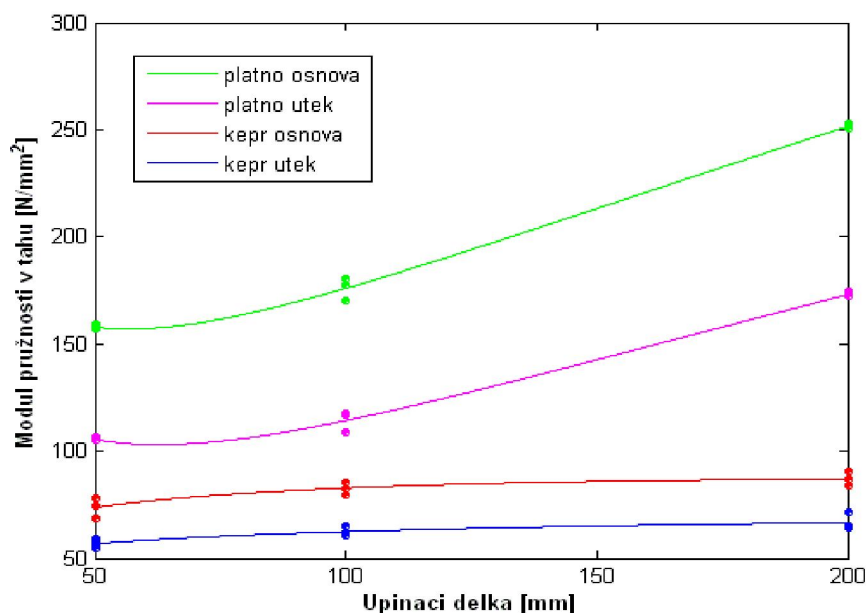
$$\text{Pro tažnost po útku: } P = -75,1 + 49,3 \ln l_0 - 6,04 (\ln l_0)^2 \quad (2.28)$$

$$\text{Pro modul po osnově: } P = -67,06 + 55,38 \ln l_0 - 4,96 (\ln l_0)^2 \quad (2.29)$$

$$\text{Pro modul po útku: } P = -5,74 + 22,5 \ln l_0 - 1,67 (\ln l_0)^2 \quad (2.30)$$

V níže uvedených grafech jsou vyneseny závislosti pevností, tažností a modulů pružnosti v tahu uvedených tkanin na upínací délce.





Grafy č.19, 20, 21

Křivky zobrazené v grafech č.19-21 byly vykresleny na základě polynomů druhého stupně uvedených výše ((2.19) – (2.30)). Z grafů je patrné, že hodnoty naměřené v průběhu experimentu se velmi blíží těmto polynomům – aproximují je. Zejména v případě tažnosti tkaniny s plátňovou vazbou ve směru osnova a v případě modulu pružnosti v tahu u tkaniny s keprovou vazbou ve směru útku jsou naměřené hodnoty s polynomy druhého řádu prakticky identické.

Průběhy křivek potvrzují tvrzení uvedená v kap.2.3.2: je patrné, že s rostoucí upínací délkou roste hodnota modulu pružnosti v tahu, naopak klesá pevnost a tažnost. I z těchto grafů je u obou tkanin patrná vyšší pevnost ve směru osnova než ve směru útku a naopak větší tažnost ve směru útku než ve směru osnova.

Závěr: Z grafů je patrné, že naměřené hodnoty pevností, tažností a automatických Youngových modulů pružnosti vyhovují uvedenému modelu prakticky ve všech výše uvedených případech. Průběhy křivek uvedených v grafech č.19-21 navíc potvrzují tvrzení uvedená v kap.2.3.2.

3. ZÁVĚR

V této práci byl sledován vliv rychlosti deformace, rychlosti příčnicku a upínací délky na pevnost, tažnost a automatický Youngův modul pružnosti vybraných tkanin. Byl sledován také průběh tahových křivek tkanin při různých upínacích délkách a různých rychlostech příčnicku.

Vlastní experiment byl proveden na přístroji INSTRON 4411. V experimentální části pak byly graficky zpracovány výsledky měření hodnocených vlastností (pevnost, tažnost, čas do přetrhu, automatický Youngův modul pružnosti) v závislosti na rychlosti příčnicku, rychlosti deformace a na upínací délce. Vzorky tkanin byly proměřovány ve směru osnovy i útku, při rychlostech příčnicku 50, 100 a 250 mm/min a upínacích délkách 50, 100 a 200 mm.

Z grafů č.1-6 je patrné, že upínací délka vzorků má vliv na strmost tahových pracovních křivek tkanin i na maximální hodnoty zatížení. Naopak mění se rychlost příčnicku maximální hodnoty zatížení příliš nemění.

Porovnáním vlivu upínací délky a rychlosti příčnicku na sledované parametry u tkanin a přízí bylo zjištěno, že, na rozdíl od tkanin, příze vykazují významný vliv měnících se podmínek měření (upínací délky, rychlosti příčnicku) na všechny tři výše zmíněné parametry přízí (pevnost, tažnost, modul pružnosti v tahu) [23].

Naproti tomu vliv rychlosti deformace a rychlosti příčnicku na pevnost a tažnost tkanin se ukázal být zanedbatelný. Automatický Youngův modul pružnosti je ovlivněn rychlostí deformace – se zvyšující se rychlostí deformace rostou také hodnoty automatického Youngova modulu pružnosti.

Naopak vliv upínací délky vychází ve všech případech jako významný, což potvrzují mimo jiné i výše uvedené hodnoty koeficientů determinace. S rostoucí upínací délkou klesá pevnost a tažnost tkaniny a naopak roste hodnota automatického Youngova modulu pružnosti.

Patrný je také vliv dostavy proměřených tkanin, respektive směr zatížení. Ve směru osnovy je u obou tkanin patrná větší pevnost, protože dostava osnovy je vyšší než dostava útku. Naopak tažnost je vyšší ve směru útku, kde je dostava menší, zato zvlnění nití je v tomto směru vyšší. Také hodnoty automatického Youngova modulu pružnosti jsou vyšší ve směru osnovy, než ve směru útku.

Výsledky dvoufaktorové analýzy rozptylu potvrzují významný vliv upínací délky a naopak nevýznamný vliv rychlosti příčnicku i obou těchto faktorů současně na pevnost, tažnost i automatický Youngův modul pružnosti. Tyto závěry jsou vyvozeny z porovnání hodnot F-

kritérií s hodnotami kritických kvantilů. Závislost pevnosti, tažnosti a automatického Youngova modulu pružnosti na upínací délce byla potvrzena také v kapitole 2.3.4, kde naměřené hodnoty sledovaných parametrů tkanin ve všech případech vyhovovaly použitému modelu.

Literatura :

- [1] Dostálová M., Křivánková M. : Základy textilní a oděvní výroby, SKRIPTUM, TUL 2001
- [2] www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/ZKT2
- [3] ČSN EN ISO 13934 – 1: Textilie – Tahové vlastnosti plošných textilií – Část 1: Zjišťování maximální a tažnosti při maximální síle pomocí metody Strip
- [4] Košková B.: Struktura a vlastnosti vláken, SKRIPTUM, VŠST Liberec 1989
- [5] Militký J., Vaniček J.: Vlastnosti vláken, TUL
- [6] ČSN EN ISO 2062: Textilie. Nitě v návinech. Zjišťování pevnosti a tažnosti jednotlivých nití při přetrhu
- [7] www.wikipedia.cz
- [8] Neckář B.: Pracovní materiály pro předmět Struktura a vlastnosti textilií I
- [9] MANUÁL K PŘÍSTROJI USTER TESTER IV
- [10] Vyšanská M., Krupincová G.: Practical approaches to the yarn diameter determination. Mezinárodní konference STRUTEX 06
- [11] Křemenáková D.: Modelování geometrie a pevnosti bavlnářských přízí. Habilitační práce, TUL 2005
- [12] Hušková M.: Geometrické vlastnosti směsových přízí, Diplomová práce 2006
- [13] <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktt/pristroje/instron/instron.html>
- [14] INTERNÍ MATERIÁLY KTT, FT, TUL
- [15] Staněk J.: Nauka o textilních materiálech, díl I., část 4., Vlastnosti délkových a plošných textilií VŠST Liberec 1988
- [16] HEARLE J., V., S., GROSBERG P., BACKER S.: Structural mechanics of Fibres, Yarns, and Fabrics, Wiley-Interscience, New York, London, Toronto, Sydney 1969
- [17] Porkertová J.: Zpracování experimentálních dat, přednášky, TUL 2006
- [18] e-learning.tul.cz/.../img/219/graf_s-s.gif
- [19] www.doitpoms.ac.uk/.../images/img003.gif
- [20] Mísař J.: Vliv vazby na mechanické vlastnosti tkanin, Diplomová práce 2004
- [21] www.obleceni.cz/clanky/vazba-tkanin.php
- [22] Militký J.: Textilní vlákna klasická a speciální, TUL 2002
- [23] Dokoupilová L.: Vliv rychlosti deformace na pracovní tahové křivky přízí, diplomová práce, TUL 2007
- [24] Meloun M., Militký J.: Statistická analýza experimentálních dat. Academia Praha, 2004

[25] Kolektiv autorů: IN 12-108-01/01 Definice. Geometrické vlastnosti staplových přízí, Výzkumné centrum Textil, FT,TUL 2004